

Université de Montréal

**Études de conditions favorisant la prévention
de la contrainte et des maladies cardiovasculaires
chez les pompiers**

par Philippe Gendron

Programme de sciences biomédicales
Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Thèse présentée
en vue de l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en sciences biomédicales

Septembre 2019

© Philippe Gendron, 2019

Résumé

Représentant 43% des décès rapportés au cours des dix dernières années, la mort subite due à un événement cardiaque est la cause de décès au travail la plus fréquente chez les pompiers américains. Des études démontrent que le risque d'événements cardiaques au travail chez les pompiers est accentué par deux causes principales, la première étant la présence d'une maladie coronarienne, d'une cardiomégalie/hypertrophie ventriculaire gauche (HVG) ou de dommages occasionnés antérieurement par un infarctus du myocarde, la seconde étant l'importante contrainte cardiovasculaire subie au travail.

Aucune étude n'a été réalisée pour évaluer l'état de santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec. Une telle étude permettrait d'en connaître davantage sur leur risque de maladies et d'événements cardiovasculaires. Par ailleurs, on constate que la prévalence des facteurs de risque des maladies cardiovasculaires (MCV) est élevée chez les pompiers américains, ce qui corrèle avec le nombre élevé d'événements cardiaques au travail. **Le premier objectif de cette thèse** était donc de dresser un portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec.

Ensuite, dans le but de réduire le risque d'événements cardiaques au travail, il était pertinent d'étudier une stratégie de prévention des MCV chez les pompiers. Le risque de développer une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG pourrait être réduit en adoptant et maintenant de saines habitudes de vie, dont une pratique régulière d'activités physiques. Plusieurs services de sécurité incendie au Québec permettent aux pompiers de faire du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail. Cette pratique pourrait contribuer à augmenter leur quantité d'activités physiques hebdomadaire et à améliorer leur santé cardiovasculaire. **Le deuxième objectif de cette thèse** était donc de comparer la pratique d'activités physiques hebdomadaire et différents indicateurs de santé cardiovasculaire chez les pompiers qui font et ceux qui ne font pas de conditionnement physique pendant les heures de travail.

Enfin, dans le but de réduire le risque d'événements cardiaques au travail, il semblait pertinent de s'intéresser à la prévention de la contrainte cardiovasculaire subie au travail chez les pompiers, considérant qu'elle agit comme « déclencheur ». Cette contrainte pourrait être réduite en évitant d'écourter les périodes de repos octroyées entre les phases de travail lors d'une intervention. **Le troisième objectif de cette thèse** était de comparer et de caractériser la contrainte cardiaque engendrée par deux interventions simulant les tâches du métier de pompiers, soit deux phases de travail identiques entrecoupées d'une période de récupération passive courte *versus* prolongée.

Les résultats principaux de cette thèse montrent qu'une proportion importante de pompiers (Chapitre 2) et pompières (Chapitre 3) du Québec sont à risque moyen/élevé de MCV. Ils montrent aussi que les pompiers qui font du conditionnement physique pendant les heures de travail pratiquent plus d'activité physique par semaine et présentent de meilleurs indicateurs de santé cardiovasculaire que les pompiers qui n'en font pas (Chapitre 4). Finalement, les résultats montrent qu'une période de récupération passive d'une durée de 5 minutes entre deux phases de travail de 25 minutes lors d'une simulation d'intervention engendre une contrainte cardiaque largement plus importante qu'une période de 20 minutes et que cette différence semble être principalement redevable à une contrainte thermique et une déshydratation plus importantes (Chapitre 5).

Ces projets de recherche ont été subventionnés par les Fonds de recherche du Québec – Santé sous la forme d'une bourse d'étude de formation de doctorat.

Mots-clés : pompiers, événement cardiaque, risque de maladies cardiovasculaires, contrainte cardiovasculaire, contrainte thermique, pratique d'activités physiques.

Abstract

Accounting for 43% of deaths reported in the past decade, sudden cardiac death is the most common cause of on-duty deaths among US firefighters. Studies show that the risk of on-duty cardiac events in firefighters is accentuated by two main causes: the first is the presence of coronary heart disease, cardiomegaly/left ventricular hypertrophy (LVH) and/or damage caused previously by a myocardial infarction, the second being the important cardiovascular strain suffered at work.

No studies have been conducted to assess the cardiovascular health status of Québec firefighters. Such a study would allow us to know more about their risk of cardiovascular diseases (CVD) and on-duty cardiac events. Furthermore, the prevalence of CVD risk factors was shown to be high among US firefighters, consistent with the high number of on-duty cardiac events. **The first objective of this thesis** was thus to assess the cardiovascular health profile of Québec male and female firefighters.

Second, in order to reduce the risk of on-duty cardiac events, it was relevant to pore over the prevention of CVD in firefighters. The risk of developing coronary heart disease and/or cardiomegaly/LVH could be reduced by engaging in and maintaining healthy lifestyle behavior including regular physical activity. Several fire departments in Québec allow firefighters to do on-duty physical training in fire stations. This could help increase their weekly physical activity level and improve their cardiovascular health. **The second objective of this thesis** was to compare the weekly physical activity level and various cardiovascular health indicators in firefighters who physically train on duty in the fire station and those who do not.

Lastly, in order to reduce the risk of on-duty cardiac events, it was also relevant to look at the prevention of cardiovascular strain suffered by firefighters, considering that it acts as a "trigger". This could be reduced by avoiding shortened recovery periods between periods of work during interventions. **The third objective of this thesis** was to compare and characterize the cardiac strain generated by two firefighting simulations consisting of two identical work bouts intercalated with a short vs. extended passive recovery period.

The main results of this thesis show that a high proportion of Québec male and female firefighters are at moderate to high risk of CVD. They also show that firefighters who physically train on duty in fire stations have a higher weekly physical activity level and have better cardiovascular health indicators compared to firefighters who do not. Finally, the results show that a passive recovery period of 5 minutes between two 25-minute work bouts during a firefighting simulation results in a greater cardiac strain than a 20-minute recovery period and that this difference seems to be mainly due to a greater thermal strain and dehydration.

These projects were funded by Fonds de recherche du Québec – Santé in the form of a doctoral research scholarship.

Keywords: firefighters, cardiac event, cardiovascular diseases risk, cardiovascular strain, thermal strain, physical activity.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xi
Liste des abréviations.....	xii
Remerciements.....	xvii
Introduction.....	1
Chapitre 1. Événements cardiaques au travail chez les pompiers	3
1.1 Définition et statistiques	3
1.2 Causes des événements cardiaques au travail	3
1.2.1 Maladie coronarienne et cardiomégalie/hypertrophie ventriculaire gauche	4
1.2.1.1 Facteurs de risque non spécifiques au métier de pompier.....	7
1.2.1.1.1 Hypertension artérielle	7
1.2.1.1.2 Dyslipidémie	9
1.2.1.1.3 Diabète de type 2.....	10
1.2.1.1.4 Obésité	11
1.2.1.1.5 Inactivité physique	15
1.2.1.1.6 Tabagisme	16
1.2.1.1.7 Âge.....	18
1.2.1.1.8 Sexe.....	19
1.2.1.2 Facteurs de risque spécifiques au métier de pompier.....	20
1.2.1.2.1 Stress psychologique chronique.....	20
1.2.1.2.2 Exposition chronique au bruit.....	22
1.2.1.2.3 Exposition chronique aux contaminants de la fumée.....	22
1.2.1.2.4 Effets chroniques des quarts de travail	24
1.2.1.2.5 Alimentation en caserne.....	25

1.2.2	Contrainte cardiovasculaire au travail.....	25
1.2.2.1	Facteurs qui augmentent la contrainte cardiovasculaire au travail	27
1.2.2.1.1	Effort physique.....	28
1.2.2.1.2	Effort physique soudain	31
1.2.2.1.3	Contrainte thermique.....	32
1.2.2.1.4	Déshydratation	36
1.2.2.1.5	Stress psychologique aigu.....	38
1.2.2.1.7	Exposition aiguë au bruit	40
1.2.2.1.8	Effets aigus des quarts de travail.....	41
1.2.2.2	Réponses cardiovasculaires.....	41
1.2.2.2.1	Réponses cardiaques	41
1.2.2.2.2	Réponses vasculaires.....	44
1.2.2.2.3	Réponses hémostatiques	45
1.3	Problématique, objectifs et hypothèses.....	46
Chapitre 2. Article 1 – Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters		49
2.1	Résumé.....	51
2.2	Abstract	52
2.3	Introduction.....	53
2.4	Methods.....	55
2.4.1	Participants.....	55
2.4.2	Questionnaire	55
2.4.3	Body mass index	56
2.4.4	Estimated VO _{2max}	56
2.4.5	Smoking status	56
2.4.6	Psychological stress	56
2.4.7	Nutrition.....	57
2.4.8	Physical inactivity	57
2.4.9	Statistical analysis	57
2.5	Results.....	58
2.5.1	Employment status.....	60

2.5.2 Rank categorization.....	60
2.5.3 BMI categorization	61
2.5.4 CVD symptom categorization.....	63
2.6 Discussion	65
2.7 Conclusion	72
2.8 References.....	73
Chapitre 3. Article 2 – Cardiovascular disease risk in female firefighters	78
3.1 Résumé.....	80
3.2 Abstract	82
3.3 Introduction.....	83
3.4 Methods.....	83
3.5 Results.....	84
3.6 Discussion	87
3.7 References	89
Chapitre 4. Article 3 – Physical training in the fire station: a cross-sectional study on firefighters’ cardiovascular health	90
4.1 Résumé.....	92
4.2 Abstract	93
4.3 Introduction.....	94
4.4 Materials and methods	95
4.4.1 Participants.....	95
4.4.2 Heart rate.....	96
4.4.3 Brachial blood pressure.....	96
4.4.4 Anthropometrics measurements.....	96
4.4.5 Blood sample.....	97
4.4.6 Physical activity	97
4.4.7 Smoking status	97
4.4.8 Type 2 diabetes	97
4.4.9 Psychological stress	98
4.4.10 Nutrition.....	98

4.4.11 CVD symptoms.....	98
4.4.12 Statistical analyses	98
4.5 Results.....	99
4.6 Discussion.....	103
4.7 References.....	106
Chapitre 5. Article 4 – Shortened recovery period between firefighting work bouts increases cardiac response disproportionately with metabolic rate	110
5.1 Résumé.....	112
5.2 Abstract	113
5.3 Introduction.....	114
5.4 Methods.....	115
5.4.1 Participants.....	115
5.4.2 Overview of the experimental design	115
5.4.3 Maximal graded walking test (GWT)	116
5.4.4 Firefighting simulations	116
5.4.5 Anthropometric measurements	118
5.4.6 Heart rate.....	119
5.4.7 Gas exchange	119
5.4.8 Near infrared spectroscopy	119
5.4.9 Oxygen pulse.....	120
5.4.10 Aural temperature	120
5.4.11 Thermal sensation	121
5.4.12 Sweat and percent body weight losses	121
5.4.13 Urine specific gravity.....	121
5.4.14 Blood lactate concentration.....	122
5.4.15 Personal protective equipment (PPE)	122
5.4.16 Statistical analysis	122
5.5 Results.....	123
5.6 Discussion	130
5.7 Conclusion	135

5.8 References	136
Chapitre 6 - Discussion générale	142
6.1 Portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec.....	143
6.2 Conditionnement physique en caserne.....	146
6.3 Contrainte cardiaque lors de simulations d'intervention	149
6.4 Perspectives pratiques	152
6.5 Perspectives de recherche	153
Conclusion	155
Bibliographie.....	i
Annexe I. Questionnaire – Études 1 et 2	xxxii
Annexe II. Questionnaire – Étude 3.....	xliv

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Prévalence d’hypertension artérielle chez des pompiers de différentes régions des États-Unis.....	7
Tableau 1.2 Prévalence d’obésité chez des pompiers de différentes régions des États-Unis. ..	12
Tableau 1.3 Prévalence d’obésité chez des pompières de différentes régions des États-Unis.	14
Tableau 1.4 Prévalence de tabagisme chez des pompiers de différentes régions des États-Unis.	17
Tableau 1.5 Les décès au travail chez les pompiers dus à un événement cardiaque (1999 à 2014).	26
Table 2.1 Participants’ characteristics	58
Table 2.2 Mean differences of variables by BMI categorization.....	62
Table 2.3 Mean differences in some variables by CVD symptom categorization.....	64
Table 2.4 Length of time since the last routine medical examination	70
Table 2.5 Length of time since last blood sample analysis.....	71
Table 3.1 Participants’ characteristics	85
Table 4.1 Descriptive data of participants	100
Table 4.2 Comparison between E and NoE regarding physical activity level.....	101
Table 4.3 Comparison between E and NoE regarding cardiovascular health indicators.....	102
Table 5.1 Descriptive data of participants	124

Liste des figures

Figure 1.1 Représentation schématique simplifiée d'une artère saine (en haut), de la formation d'une plaque d'athérosclérose dans la paroi artérielle (au milieu) et de la rupture d'une plaque d'athérosclérose suivie de la formation d'un thrombus occlusif (en bas).....	5
Figure 1.2 Représentation schématique simplifiée d'un cœur normal et d'un cœur hypertrophié pathologique.....	6
Figure 1.3 Photographies en ultraviolet illustrant le dépôt de particules fines sur différentes parties du corps chez une personne vêtue d'un EPP de pompier s'étant exposée pendant 30 minutes en laboratoire à un environnement où l'air était gorgé de particules fines simulant la fumée d'un incendie.....	23
Figure 1.4 Représentation schématique simplifiée du microenvironnement créé par le port d'un EPP lors d'un effort physique. Adapté de Cheung (2010).....	35
Figure 5.1 Heart rate (HR), percentage of maximal heart rate (%HR _{max}), oxygen consumption (VO ₂) and percentage of maximal oxygen consumption (%VO _{2max}) of each 30-second interval during E ₁ and E ₂ of T5 and T20. They were characterized by fluctuations where the high points corresponded to simulated firefighting tasks and the low points to rest periods (walking) between tasks.	125
Figure 5.2 Delta of each 30-second interval (E ₂ – E ₁) of T5 and T20 for heart rate (HR) and oxygen consumption (VO ₂).	127
Figure 5.3 Heart rate (HR) and aural temperature (AT) during the 20-min recovery period after E ₂ in T5 and T20.	130

Liste des abréviations

ACSM : American College of Sports Medicine
ADA : American Diabetes Association
ANCOVA : Analysis of covariance
ANOVA : Analysis of variance
APRIA : Appareil de protection respiratoire individuelle autonome
APSAM : Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur « affaires municipales »
AT : Aural temperature
 AT_{baseline} : Baseline aural temperature
 AT_{peak} : Peak aural temperature
ATR : Aural temperature recovery
a.u. : Arbitrary units
BF : Body fat
BMI : Body mass index
BP : Blood pressure
BW : Body weight
CATR : Coefficient of aural temperature recovery
CHRR : Coefficient of heart rate recovery
CNESST : Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité au travail
CHD : Coronary heart disease
CI : Confidence interval
CO : Cardiac output
CSEP : Canadian Society for Exercise Physiology
CVD : Cardiovascular disease
d : effect size
dBA : Décibel A
DBP : Diastolic blood pressure
DT2 : Diabète de type 2
E : Firefighters who physically train while on duty

E_1 : Effort bout 1
 E_2 : Effort bout 2
 EPP : Équipement de protection personnelle
 eVO_{2max} : Estimated maximal oxygen consumption
 f : Breathing frequency
 FC : Fréquence cardiaque
 FC_{max} : Fréquence cardiaque maximale
 FRQS : Fonds de recherché du Québec - Santé
 GWT : Graded walking test
 HDL-C : High-density lipoprotein cholesterol (Lipoprotéines de haute densité)
 $\Delta[HHb]$: Deoxyhemoglobin-myoglobin
 HVG : Hypertrophie ventriculaire gauche
 HR : Heart rate
 HR_{max} : Maximal heart rate
 HR_{peak} : Peak heart rate
 HRR : Recovery heart rate
 HR_{rest} : Resting heart rate
 HTA : Hypertension artérielle
 IAFC : International Association of Fire Chiefs
 IAFF : International Association of Fire Fighters
 ICD : Implantable cardioverter defibrillator
 IMC : Indice de masse corporelle
 INSPQ : Institut national de santé publique du Québec
 $[La^+]$: Blood lactate concentration
 LDL-C : Low-density lipoprotein cholesterol (Lipoprotéines de basse densité)
 LVH : Left ventricular hypertrophy
 MAP : Mean arterial pressure
 MCV : Maladie cardiovasculaire
 MET : Metabolic equivalent of task (équivalent métabolique)
 NCEP : National Cholesterol Education Program
 NFPA : National Fire Protection Association

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health

NIRS : Near infrared spectroscopy

NoE : Firefighters who do not physically train while on duty

O₂pulse : Oxygen pulse

PA : Physical activity

PAR-Q : Physical activity readiness questionnaire

PAS : Pression artérielle systolique

PPE : Personal protective equipment

RER : Respiratory exchange ratio

RPP : Rate pressure product

SBP : Systolic blood pressure

SCBA : Self-contained breathing apparatus

SCD : Sudden cardiac death

SD : Standard deviation

SEM : Standard error of the mean

SNP : Système nerveux parasympathique

SNS : Système nerveux sympathique

SV : Stroke volume

T2D : Type 2 diabetes

T5 : Two identical 25-minute effort bouts (consisting of exercises simulating firefighting tasks)
intercalated by a passive recovery period of 5 minutes

T20 : Two identical 25-minute effort bouts (consisting of exercises simulating firefighting tasks)
intercalated by a passive recovery period of 20 minutes

TC : Total cholesterol

USG : Urine specific gravity

V_E : Pulmonary ventilation

V_E_{max} : Maximal pulmonary ventilation

VES : Volume d'éjection systolique

V_E/VO₂ : Respiratory equivalent for oxygen

VO₂ : Oxygen consumption (Consommation d'oxygène)

VO₂_{max} : Maximal oxygen consumption (Consommation maximale d'oxygène)

$\text{VO}_{2\text{peak}}$: Peak oxygen consumption

V_T : Tidal volume

WC : Waist circumference

WFI : The Fire Service Joint Labor Management Wellness-Fitness Initiative

WHO : World Health Organization

« Il y a plus de courage que de talent dans la plupart des réussites ».

Félix Leclerc

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche, François Trudeau, Ph.D. Je te remercie François pour l'intérêt que tu portes pour mes travaux de recherche et pour ta grande générosité. Tes nombreuses connaissances, ta passion pour la science et ton ardeur au travail m'inspirent énormément. Tu as été présent et disponible tout au long de mon cheminement, je t'en suis grandement reconnaissant.

J'aimerais aussi remercier mon co-directeur Claude Lajoie, Ph.D. Tout a commencé il y a huit ans lorsque tu as accepté que je réalise mon internat au baccalauréat sous ta supervision et, un an plus tard, pour être mon directeur de maîtrise. Tu m'as initié au monde de la recherche, entre autres grâce à nos nombreuses discussions au laboratoire; depuis ce temps, j'y ai développé une grande passion. Je ne peux que t'en remercier.

François, Claude, vous m'avez permis de mettre sur pied et réaliser mes propres projets de recherche. Je vous suis très reconnaissant pour la confiance que vous m'avez accordée, confiance qui m'a permis de devenir un chercheur.

Je tiens également à remercier le professeur Louis Laurencelle, Ph.D. Le nombre incalculable d'heures que vous m'avez accordées au fil de ces années m'a permis d'apprendre à titre d'étudiant et de futur chercheur, mais surtout à titre de personne. Je vous en serai toujours reconnaissant.

Merci à Éric Goulet, Ph.D., Julie Houle, Ph.D., et Jean Lemoyne, Ph.D. pour vos conseils et votre implication.

J'aimerais également remercier Maude Boulanger, Ph.D.(c), Sébastien Blanchette, Ph.D.(c) et Pierre-Luc Yao, Ph.D., mes chers condisciples, pour cette solidarité partagée entre doctorants, ces nombreuses discussions et ces bons moments passés ensemble. Je tiens aussi à vous remercier de m'avoir accepté comme recrue dans le local de travail.

Merci à Sébastien Poirier, M.Sc. pour nos discussions enrichissantes à propos de la recherche dans le domaine des métiers d'urgence.

Je tiens aussi à remercier le professeur Claude Dugas, Ph.D., pour les précieux conseils concernant mon cursus universitaire ainsi que ma jeune carrière de chercheur.

Je tiens également à remercier Pascal Gagnon, de l'Association paritaire pour la santé et sécurité du travail, secteur « affaires municipales », pour m'avoir introduit au milieu de la sécurité incendie du Québec et pour son aide au recrutement des participants.

Merci aux services de sécurité incendie et à leur syndicat pour avoir collaboré au recrutement des participants. J'adresse mes remerciements les plus sincères aux pompiers et pompières qui ont participé aux projets de recherche. Merci aux services de sécurité incendie de Trois-Rivières et de Shawinigan pour le prêt d'équipements de protection personnelle et d'outils. Merci à Luc Jean de *Protection Incendie CFS Ltée* pour le prêt d'un appareil de protection respiratoire individuelle autonome.

Je tiens sincèrement à remercier l'Université du Québec à Trois-Rivières, le Département des sciences de l'activité physique et le Département d'anatomie pour m'avoir offert un milieu de travail stimulant et enrichissant.

Merci aux Fonds de recherche du Québec – Santé pour le support financier tout au long de mes études doctorales.

Je tiens aussi à remercier ma famille et mes ami(e)s pour le soutien. Je suis particulièrement reconnaissant à mes parents qui m'encouragent et me soutiennent dans tout ce que j'entreprends.

Je terminerais en remerciant la personne la plus chère à mes yeux, mon épouse Marie-Christine. Je te remercie pour ton soutien pendant ces années et ta compréhension pour les nombreuses fois où nos activités ont été bousculées par et pour l'avancement de mes travaux.

Introduction

Le métier de pompier comporte des risques significatifs pour la santé et la sécurité des intervenants de par la grande demande physique et psychologique qui leur est imposée lors de situations d'urgence, plus particulièrement lors d'incendies. La dangerosité de ce métier se caractérise par l'imprévisibilité des situations et par la difficulté d'y respecter des normes permettant d'assurer la sécurité du pompier lors de la réalisation de tâches critiques et essentielles. Il serait impossible de combattre un incendie et d'effectuer le sauvetage de victimes si les pompiers ne pouvaient faire face à ces risques, considérant que tous les incendies peuvent être dangereux. Entre les années 2010 et 2015, 18 558 incendies ont été déclarés en moyenne par année au Québec. Le tiers des 6103 incendies qui ont endommagé des bâtiments en 2015 ont été classés comme étant à risque élevé ou très élevé. Enfin, en date de 2012, selon le ministère de la Sécurité publique du Québec, on dénombrait 23 240 pompiers au Québec dont 5407 à temps plein, 7633 à temps partiel et 10 200 à titre de volontaires.

Selon le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (2018), les principales fonctions des pompiers sont les suivantes : intervenir en cas d'incendies, d'accidents (routiers, industriels, aériens, etc.), d'effondrements de bâtiment, de catastrophes naturelles (tornades, inondations, etc.) et d'autres situations d'urgence; porter secours à des victimes; combattre des incendies au moyen de divers équipements et méthodes (haches, eau, extincteurs chimiques, échelles, véhicules, bateaux, etc.); prodiguer les premiers soins et éduquer le public en matière de sécurité. Toutefois, ces tâches n'occupent pas toutes la même proportion du temps de travail. Kales et coll. (2007) rapportent qu'environ 1% du temps de travail est consacré au combat d'incendies, 4% à la réponse aux alarmes, 7% au retour des interventions, 15% aux urgences médicales et autres, et 65% à toutes les tâches non urgentes et les tâches réalisées en caserne. La majeure partie du temps n'est donc pas consacrée à des tâches en situations d'urgences. Cette répartition du temps semble suffisante pour que le métier présente des risques importants pour la santé des pompiers tels que la vulnérabilité aux maladies contagieuses ou infectieuses, l'exposition à des substances chimiques, l'exposition à des niveaux de bruit excessifs, la réalisation d'efforts excessifs et la confrontation à des situations stressantes. Selon l'Organisation Internationale du

Travail, les pompiers sont à risque de connaître divers problèmes de santé tels que le syndrome d'immunodéficience acquise et l'hépatite, des cancers, des lésions au dos et autres blessures musculo-squelettiques, des maladies respiratoires, des troubles psychologiques, des coups de chaleur et des maladies et événements cardiovasculaires.

Parmi ces problèmes de santé, on retrouve les complications cardiovasculaires telles que les événements cardiaques subis au travail. Cette problématique mérite qu'on s'y attarde rigoureusement, car elle est fréquente et multifactorielle.

L'objectif principal de cette thèse était de dresser un portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec et, ensuite, d'étudier différentes conditions favorisant la prévention de la contrainte et des maladies cardiovasculaires chez les pompiers. La première section de la thèse présente la définition et les statistiques des événements cardiaques au travail chez les pompiers pour ensuite discuter de ses multiples causes et facteurs de risque. Les chapitres 2, 3, 4 et 5 présentent les différentes études incluses dans la thèse. Pour terminer, le chapitre 6 propose une discussion générale sur les résultats obtenus et les considérations méthodologiques, en plus de présenter des recommandations pratiques et des perspectives de recherche. Ce travail est présenté sous forme de thèse par articles. Les travaux ont été effectués dans le cadre du programme du Doctorat en sciences biomédicales, spécialité médecine expérimentale, de l'Université de Montréal, offert en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Chapitre 1. Événements cardiaques au travail chez les pompiers

1.1 Définition et statistiques

L'événement cardiaque mortel ou non mortel qui se produit pendant les heures de travail ou dans les 24 heures suivant une intervention d'urgence est considéré comme étant un événement cardiaque au travail chez les pompiers (Fahy et coll. 2018). Chez les pompiers américains, la cause de décès au travail la plus fréquente dans les dix dernières années est l'événement cardiaque, représentant 43% des 750 décès. De plus, pour chaque décès consécutif à un événement cardiaque, environ 17 à 25 événements cardiovasculaires (crise cardiaque et accident vasculaire cérébral) non mortels se produisent au travail chez les pompiers (Evarts et Molis 2018; Kales et Smith 2017). Plusieurs provinces, territoires et états américains ont récemment reconnu comme maladie professionnelle dans leur législation pour les pompiers les cas de lésions cardiaques survenant dans les 24 heures après une intervention d'urgence. Selon Guidotti (2016), ce délai de 24 heures est arbitraire et établi à des fins administratives. Au Québec, les événements cardiaques vécus au travail par les pompiers ne sont pas systématiquement répertoriés et ne sont pas considérés comme étant une maladie professionnelle par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité au travail (CNESST).

1.2 Causes des événements cardiaques au travail

Le risque d'événements cardiaques au travail chez les pompiers est influencé par deux causes principales : la première cause est la présence d'une maladie coronarienne, une cardiomégalie/hypertrophie ventriculaire gauche (HVG) ou de dommages occasionnés antérieurement par un infarctus du myocarde (Smith et coll. 2018a; 2018b), la seconde étant la contrainte cardiovasculaire subie lors de la réalisation des tâches du métier (Smith et coll. 2016). Dans les sections qui suivent, ces deux causes seront abordées en détail. Il est important de prendre note qu'il est question d'hypertrophie cardiaque pathologique tout au long de cette thèse lorsqu'on parle de cardiomégalie/HVG.

1.2.1 Maladie coronarienne et cardiomégalie/hypertrophie ventriculaire gauche

Dans 93% des cas de décès causés par un événement cardiaque recensés chez les pompiers américains, la maladie coronarienne ou la cardiomégalie/HVG est diagnostiquée lors de l'autopsie (Smith et coll. 2018a; 2018b). En fait, dans 80 à 82% des cas, la maladie coronarienne et la cardiomégalie/HVG sont conjointement présentes alors que, dans respectivement 5 à 8% et 6% des cas, une seule des deux est présente. De plus, dans 52% des cas, des dommages occasionnés par un infarctus précédent ont été observés (Smith et coll. 2018a). Ces derniers rapportent que la maladie coronarienne, la cardiomégalie/HVG et un infarctus précédent sont d'excellents prédicteurs d'événements cardiaques mortels au travail chez les pompiers, selon des probabilités respectives neuf (IC95% : 5,3 – 16,1), six (IC95% : 3,6 – 10,4) et six (IC95% : 3,4 – 11,3) fois plus élevées qu'en leur absence. Enfin, lorsqu'une sténose résultant d'une plaque d'athérosclérose a été antérieurement diagnostiquée dans une artère, le risque de subir un événement cardiaque mortel au travail est seize (IC95% : 3,5 – 68,6) fois plus élevé chez les pompiers de moins de 60 ans (Kales et coll. 2003) et sept (IC95% : 2,9 – 16,5) fois plus élevé chez les pompiers de moins de 45 ans (Yang et coll. 2013) et ce, indépendamment des autres facteurs de risque. Geibe et coll. (2008) rapportent aussi que le même risque est quatre (IC95% : 1,6 – 10,6) fois plus élevé lorsqu'une sténose résultant d'une plaque d'athérosclérose a été diagnostiquée antérieurement dans une artère coronaire et ce, indépendamment encore des autres facteurs de risque. La prévalence d'une sténose résultant d'une plaque d'athérosclérose dans une artère coronaire diagnostiquée antérieurement est de 18% chez les pompiers ayant subi un événement cardiaque non mortel au travail (Geibe et coll. 2008) et de 26-31% chez les pompiers décédés d'un événement cardiaque au travail (Geibe et coll. 2008; Kales et coll. 2003).

La maladie coronarienne se caractérise par la présence d'une plaque d'athérosclérose dans la paroi artérielle d'une artère coronaire constituée entre autres de lipoprotéines de basse densité (LDL-C), de radicaux libres, de molécules inflammatoires, de monocytes, de macrophages, de plaquettes sanguines et de cellules musculaires lisses (Mann et coll. 2014). À mesure que la plaque progresse, il en résulte une sténose qui peut limiter l'apport en oxygène au myocarde et provoquer une ischémie. De plus, l'érosion ou la rupture de la plaque d'athérosclérose peut

mener à la formation d'un thrombus occlusif causant une ischémie complète et, par conséquent, un infarctus du myocarde (Figure 1.1).

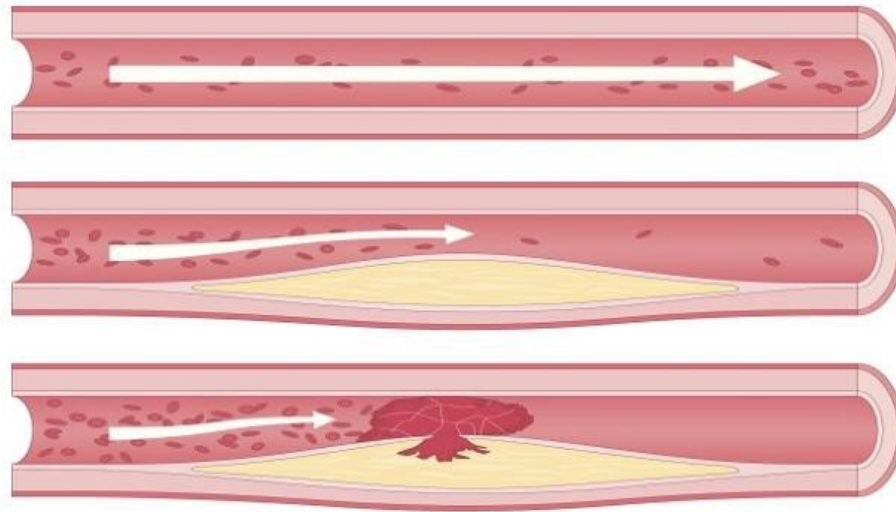


Figure 1.1 Représentation schématisée simplifiée d'une artère saine (en haut), de la formation d'une plaque d'athérosclérose dans la paroi artérielle (au milieu) et de la rupture d'une plaque d'athérosclérose suivie de la formation d'un thrombus occlusif (en bas).

Source : Fondation des maladies du cœur et de l'AVC du Canada

<https://www.coeuretavc.ca/coeur/problemes-de-sante/atherosclerose>

Bien que la maladie coronarienne ait été diagnostiquée à l'autopsie dans 87% des cas de décès par événement cardiaque au travail chez les pompiers, la présence d'un thrombus dans une artère coronaire n'a été rapportée que dans 16% des cas (Smith et coll. 2018a). Ceci suggère que la majorité des événements cardiaques mortels rapportés chez les pompiers ne sont pas causés par un infarctus du myocarde, mais probablement suite à une arythmie ventriculaire engendrée par une sténose coronarienne causant une ischémie aiguë ou par une perturbation de l'activité électrique cardiaque résultant de modifications structurales du myocarde associées à une ischémie chronique (e.g. cardiomégalie/HVG) ou un infarctus précédent (Deo et Albert 2012). Cette hypothèse est crédible dans la mesure où une cardiomégalie/HVG et un infarctus précédent ont été rapportés dans respectivement 86-88 et 52% des cas (Smith et coll. 2018a; 2018b).

La cardiomégalie/HVG est principalement causée par une post-charge cardiaque (force de résistance que rencontre le myocarde lors de sa contraction) élevée de façon chronique pouvant être engendrée entre autres par une sténose de la valve aortique ou une pression artérielle élevée (Heineke et Molkentin 2006). La cardiomégalie/HVG consiste en une augmentation de l'épaisseur et de la masse de la paroi du ventricule gauche et une diminution nette des dimensions de la chambre ventriculaire (Figure 1.2).

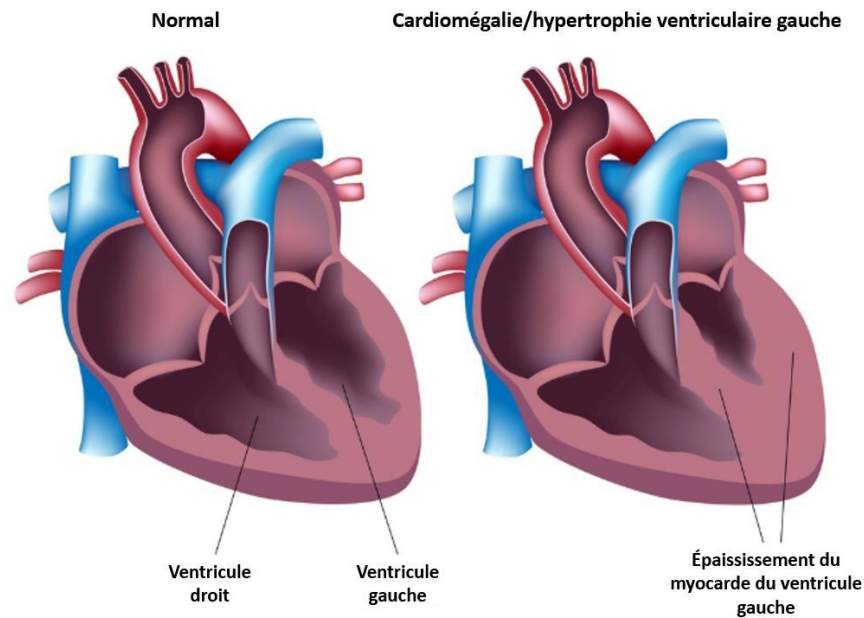


Figure 1.2 Représentation schématique simplifiée d'un cœur normal et d'un cœur hypertrophié pathologique.

Adapté de Australian Genetic Heart Disease Registry

<http://www.heartregistry.org.au/patients-families/genetic-heart-diseases/hypertrophic-cardiomyopathy/>

Ce remodelage est caractérisé par une plus grande augmentation de la largeur que de la longueur des cardiomyocytes (Heineke et Molkentin 2006). Cette pathologie est porteuse d'un risque élevé d'arythmie ventriculaire en absence de maladie coronarienne (Ghali et coll. 1991). Les changements architecturaux chroniques du myocarde engendrés, telle la fibrose interstitielle, peuvent altérer la propagation électrique cardiaque, favorisant ainsi le déclenchement d'arythmies ventriculaires (Wolk 2000). Un infarctus précédent engendre aussi des changements architecturaux chroniques augmentant le risque subséquent d'arythmie

ventriculaire et, par conséquent, le risque d'événements cardiaques fatals (Zipes et Wellens 1998).

1.2.1.1 Facteurs de risque non spécifiques au métier de pompier

Plusieurs facteurs augmentent le risque de développer une maladie coronarienne et une cardiomégalie/HVG. Dans cette section, il sera question de facteurs de risque qui ne sont pas spécifiques au métier de pompier.

1.2.1.1.1 Hypertension artérielle

L'hypertension artérielle (HTA) est un important facteur de risque des MCV, telles l'athérosclérose et la cardiomégalie/HVG (Mann et coll. 2014). On considère qu'une personne souffre d'HTA lorsque sa pression artérielle de repos est supérieure ou égale à 140 mmHg lors de la systole ou supérieure ou égale à 90 mmHg lors de la diastole (Chobanian et coll. 2003). Plusieurs études ont mesuré la prévalence d'HTA chez des pompiers américains (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 Prévalence d'hypertension artérielle chez des pompiers de différentes régions des États-Unis.

Auteurs	Critère d'HTA	Statut d'emploi	N	Âge (années) $\bar{X} \pm \text{ÉT}$	Région	%
Baur et coll. (2011)	Médication antihypertensive	Temps plein	968	39,5 \pm 8,6	Mid-Ouest	11,5
Donovan et coll. (2009)	Médication antihypertensive $\geq 140/90$ mmHg	Temps plein	214	39 \pm 9	Colorado	14,0 10,0
Gaughan et coll. (2014)	$\geq 140/90$ mmHg	Temps plein	401	36	Mid-Ouest	18,0

Poston et coll. (2011a)	Médication antihypertensive ou $\geq 140/90$ mmHg	Temps plein	478	$38,2 \pm 9,9$	Vallée du Missouri	9,2
Poston et coll. (2011a)	Médication antihypertensive ou $\geq 140/90$ mmHg	Volontaire	199	$39,7 \pm 12,0$	Vallée du Missouri	10,6
Soteriades et coll. (2005)	$\geq 140/90$ mmHg	-	270	$29,0 \pm 4,1$	Massachusetts	17,8
Soteriades et coll. (2008)	$\geq 140/90$ mmHg	-	329	$39,2 \pm 7,0$	Massachusetts	18,2

Les études rapportent une prévalence d'HTA de 9 à 18% chez les pompiers selon différentes régions des États-Unis. Pour ce qui est des pompières, Jahnke et coll. (2012) mesurent des prévalences ($\geq 140/90$ mmHg) respectives de 0% et 7,7% chez 18 pompières à temps plein et 13 volontaires de la Vallée du Missouri. Choi et coll. (2016) mesurent une prévalence ($\geq 140/90$ mmHg ou prise de médication antihypertensive) de 0% chez 9 pompières californiennes. Peu d'études concernant la santé cardiovasculaire des pompières ont été réalisées. Ces dernières sont souvent exclues des études de par leur faible nombre. Aux États-Unis, environ 3,7% des 300 000 pompiers à temps plein sont des femmes (Hulett et coll. 2008), ce qui équivaut à environ à 11 000 pompières à temps plein. Les résultats montrent tout de même que la prévalence d'HTA semble inférieure chez les pompières que chez les pompiers aux États-Unis, ce qui semble le cas chez les Américain(e)s de 18 à 39 ans (10,9% *versus* 4,6%) mais pas de 40 à 59 ans (31,% *versus* 30,0%) (Wang et Wang 2004).

La prévalence d'HTA est de 49% chez les pompiers ayant subi un événement cardiaque non mortel au travail (Geibe et coll. 2008) et de 76-78% chez les pompiers décédés lors d'un événement cardiaque au travail (Geibe et coll. 2008; Kales et coll. 2003). L'HTA est la conséquence d'une diminution de la distensibilité artérielle et d'une augmentation de la rigidité

de la paroi artérielle. Cette dysfonction vasculaire est engendrée notamment par une alimentation riche en sodium, la résistance à l'insuline et l'inflammation chronique (Mann et coll. 2014). Les modifications de la fonction vasomotrice contribuent au développement d'athérosclérose dans la paroi artérielle (Mann et coll. 2014). Chez les pompiers de moins de 60 ans, le risque de subir un événement cardiaque mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne non-diagnostiquée est six (IC95% : 2,4 – 15,7) fois plus élevé en présence d'HTA et, ce, indépendamment des autres facteurs de risque (Kales et coll. 2003). Geibe et coll. (2008) rapportent aussi que, chez les pompiers, le risque qu'un événement cardiaque subi au travail en présence d'une maladie coronarienne non-diagnostiquée soit mortel est quatre (IC95% : 1,8 – 9,4) fois plus élevé en présence d'HTA, indépendamment des autres facteurs de risque. De plus, l'HTA augmente la post-charge cardiaque, un important facteur contribuant au développement de cardiomégalie/HVG (Mann et coll. 2014). D'ailleurs, Kales et coll. (2003) et Holder et coll. (2006) considéraient les pompiers dans leur étude comme étant hypertendus lorsqu'ils présentaient des signes de cardiomégalie/HVG, étant donné la forte association entre ces deux conditions (Wilson et coll. 1998). Finalement, Yang et coll. (2013) démontrent que, chez les pompiers de moins de 45 ans et indépendamment des autres facteurs de risque, les hypertendus ont trois (IC95% : 2,0 – 5,9) fois plus de risque de décéder d'un événement cardiaque au travail et douze (IC95% : 6,2 – 22,3) fois plus de risque lorsqu'on considère comme hypertendus les pompiers ayant une cardiomégalie/HVG.

1.2.1.1.2 Dyslipidémie

La dyslipidémie se caractérise entre autres par une concentration plasmatique élevée en LDL-C et basse en lipoprotéines de haute densité (HDL-C). La dyslipidémie est considérée comme un facteur de risque des MCV lorsque la concentration plasmatique à jeun en lipoprotéines LDL-C est supérieure ou égale à 130 mg/dL (3,37 mmol/L) ou est inférieure à 40 mg/dL (1,04 mmol/L) en HDL-C, ou supérieure ou égale à 200 mg/dL (5,18 mmol/L) en cholestérol total si les informations à propos du LDL-C et du HDL-C ne sont pas disponibles (NCEP 2002). Soteriades et coll. (2002), rapportent que 52% des 275 pompiers (incluant 4 pompières) ayant participé à leur étude ont une concentration plasmatique supérieure ou égale à 130 mg/dL en LDL-C. Une concentration plasmatique inférieure à 40 mg/dL en HDL-C a été observée chez

21 à 41% des pompiers (Baur et coll. 2012b; Donovan et coll. 2009; Li et coll. 2017; Soteriades et coll. 2002; Soteriades et coll. 2005). Pour ce qui est du cholestérol total, 59 à 71% des pompiers présentaient une concentration plasmatique supérieure ou égale à 200 mg/dL (Kales et coll. 2002; Kales et coll. 2003; Soteriades et coll. 2002; Soteriades et coll. 2005; Soteriades et coll. 2008).

On note que 58% (Geibe et coll. 2008) des pompiers ayant connu un événement cardiaque non mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne et 62% (Geibe et coll. 2008) et 88% (Kales et coll. 2003) des pompiers décédés d'un événement cardiaque au travail en présence d'une maladie coronarienne présentaient une concentration plasmatique supérieure ou égale à 200 mg/dL. Toutefois, un taux de cholestérol total élevé (≥ 200 mg/dL) n'est pas significativement associé de façon indépendante à un risque plus élevé de subir un événement cardiaque fatal au travail chez les pompiers (Geibe et coll. 2008; Kales et coll. 2003; Yang et coll. 2013). Il serait pertinent d'étudier le lien entre le risque de subir un événement cardiaque fatal au travail chez les pompiers et la concentration plasmatique en LDL-C (≥ 130 mg/dL) et HDL-C (< 40 mg/dL), étant donné que ces lipoprotéines sont les cibles thérapeutiques prioritaires (NCEP 2002) et parce qu'elles ont un rôle indépendant dans le développement d'athérosclérose. Les LDL-C s'infiltrant dans la paroi vasculaire et sont oxydées, une étape importante de la formation d'une plaque d'athérosclérose (Mann et coll. 2014). Pour leur part, les HDL-C limitent le développement d'athérosclérose parce qu'elles ont des propriétés anti-inflammatoires, transportent des enzymes antioxydantes réduisant l'oxydation des LDL-C dans la paroi vasculaire et pourraient même avoir la capacité de transporter le cholestérol hors de la paroi vasculaire (Mann et coll. 2014).

1.2.1.1.3 Diabète de type 2

L'hyperglycémie associée au diabète de type 2 (DT2) contribue au développement d'HTA et de dyslipidémie à cause de l'augmentation de la résistance à l'insuline et l'accumulation de produits de glycation avancée engendrant ainsi une augmentation de la lipémie, une augmentation du stress oxydatif, une augmentation de l'adhésion de molécules inflammatoires

aux cellules endothéliales, une perturbation de la fonction endothéliale des artères et une augmentation du potentiel thrombotique (Mann et coll. 2014). Le DT2 est considéré comme un facteur de risque des MCV lorsque la glycémie à jeun est supérieure ou égale à 126 mg/dL (7 mmol/L) ou le taux d'hémoglobine glyquée supérieur ou égal à 6,5% (ADA 2017). Chez des pompiers américains, une prévalence de 1 à 3% de DT2 a été rapportée (Baur et coll. 2011; Kales et coll. 2003; Poston et coll. 2011a; Soteriades et coll. 2008). Les critères définissant le DT2 varient selon les études : glycémie à jeun ≥ 126 mg/dL (7 mmol/L), glycémie à jeun ≥ 150 mg/dL (8,3 mmol/L) ou prise de médication hypoglycémiante ou diagnostic médical. Par contre, on note une prévalence de 21% chez les pompiers ayant subi un événement cardiaque non mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne (Geibe et coll. 2008) et de 14% (Geibe et coll. 2008) et 21% (Kales et coll. 2003) chez les pompiers décédés d'un événement cardiaque au travail en présence d'une maladie coronarienne. Toutefois, le DT2 par lui-même n'est pas significativement corrélé à un risque plus élevé de subir un événement cardiaque fatal au travail chez les pompiers (Geibe et coll. 2008; Kales et coll. 2003; Yang et coll. 2013). L'élévation du risque associé au DT2 semble plutôt attribuable à ses effets sur l'HTA et la dyslipidémie (Soteriades et coll. 2011).

1.2.1.1.4 Obésité

L'obésité est un important facteur de risque des MCV (Mann et coll. 2014). Elle contribue au développement d'HTA, de dyslipidémie et de DT2 en engendrant de l'inflammation chronique, du stress oxydatif, de la dysfonction endothéliale et en augmentant la résistance à l'insuline et le risque de syndrome d'apnée obstructive du sommeil (Mann et coll. 2014). Des études démontrent que les pompiers obèses ont une prévalence d'HTA (Soteriades et coll. 2005; Soteriades et coll. 2008) et de dyslipidémie (Soteriades et coll. 2005) plus élevée que leurs confrères non obèses.

L'obésité est caractérisée par un indice de masse corporelle (IMC) supérieur ou égal à 30 kg/m² ou par une circonférence de taille (CT) supérieure à 102 cm (homme) ou 88 cm (femme) (Jensen et coll. 2014). On pourrait émettre l'hypothèse qu'une proportion importante de pompiers dont l'IMC est élevé ont une masse musculaire importante et peuvent être malencontreusement

considérés comme obèses. Cependant, Poston et coll. (2011a) ont observé chez des pompiers des prévalences d'obésité similaires lorsque quantifiées avec l'IMC ($\geq 30 \text{ kg/m}^2$) et la circonférence de taille ($>102 \text{ cm}$) et inférieures à la prévalence mesurée avec le pourcentage de graisse ($>25\%$). Les proportions de cas d'obésité faux-positifs déclarés avec l'IMC étaient respectivement de 9,8 et 2,9% par rapport aux prévalences d'obésité mesurées avec les critères de circonférence de taille et du pourcentage de graisses. Les proportions de cas d'obésité faux-négatifs déclarés avec l'IMC étaient de 32,9 et 13,0% par rapport à celles mesurées avec les critères de circonférence de taille et du pourcentage de graisse. Les cas d'obésité faux-positifs déclarés avec l'IMC étaient alors moins nombreux que les cas faux-négatifs. L'IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ semble alors être un bon critère pour quantifier la prévalence d'obésité chez les pompiers. D'ailleurs, plusieurs études ont mesuré la prévalence d'obésité chez des pompiers américains (Tableau 1.2).

Tableau 1.2 Prévalence d'obésité chez des pompiers de différentes régions des États-Unis.

Auteurs	Critère d'obésité	Statut d'emploi	N	Âge (années) $\bar{X} \pm \text{ÉT}$	Région	%
Baur et coll. (2011)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	968	$39,5 \pm 8,6$	Mid-Ouest	36,8
Baur et coll. (2012a)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	768	$37,6 \pm 8,5$	Mid-Ouest	36,7
Baur et coll. (2012b)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	957	$39,6 \pm 8,5$	Mid-Ouest	37,0
Clark et coll. (2002)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	-	218	$33,5 \pm 8,6$	Texas	32,1
Donovan et coll. (2009)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	214	39 ± 9	Colorado	19,2
Durand et coll. (2011)	IMC $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	527	$37,2 \pm 8,6$	Kansas Missouri	35,7

Jitnarin et coll. (2014)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein	994	39,2 \pm 8,8	Plusieurs États et Territoires des États-Unis	29,9
	CT >102 cm					27,7
Kaipust et coll. (2019)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein	1419	38,8 \pm 9,2	Mid-Ouest	30,8
Kuehl et coll. (2012)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	-	433	27,3 \pm 3,4	Oregon Washington	18,9
Li et coll. (2017)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein Volontaire	933	37,1 \pm 9,8	Colorado	23,0
	CT >102 cm					16,1
Poston et coll. (2011a)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein	478	38,2 \pm 9,9	Vallée du Missouri	33,5
	CT >102 cm					30,5
Poston et coll. (2011a)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Volontaire	199	39,7 \pm 12,0	Vallée du Missouri	43,2
	CT >102 cm					45,2
Poston et coll. (2014)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein	1001	39,2 \pm 8,8	Plusieurs états et territoires	30,2
Soteriades et coll. (2005)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	-	332	29,0 \pm 4,1	Massachusetts	34,9
Soteriades et coll. (2008)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	-	329	39,2 \pm 7,0	Massachusetts	34,7
Yoo et Franke (2009)	IMC ≥ 30 kg/m ² (auto-rapporté)	Volontaire	230	37,0 \pm 10,9	-	40,9

CT= Circonférence de taille; IMC= indice de masse corporelle

La majorité des études rapporte une prévalence d'obésité ($\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) d'environ 30 à 37% selon les régions et les statuts d'emploi étudiés. Comparativement aux autres régions, la prévalence semble inférieure chez les pompiers du Colorado (Donovan et coll. 2009; Li et coll. 2017). Un groupe de chercheurs observe aussi une prévalence d'obésité inférieure chez des pompiers de l'Oregon et de l'État de Washington (Kuehl et coll. 2012). Cependant, les pompiers de cette dernière étude ont une moyenne d'âge inférieure d'environ 10 ans comparativement aux autres études. Ceci est cohérent avec les résultats de Soteriades et coll. (2005) qui montrent une augmentation de 5% de la prévalence d'obésité suite à un suivi d'une durée de 5 ans. Une différence d'âge de 10 ans pourrait alors expliquer en partie la différence de 10 points de pourcentage. Le statut d'emploi semble aussi influencer la prévalence d'obésité. Poston et coll. (2011a) observent dans une même région que les pompiers volontaires présentent une prévalence de 43 à 45% comparativement à environ 31 à 34% chez les pompiers à temps plein. Enfin, les études précédemment citées montrent que la prévalence d'obésité chez les pompiers est semblable voire supérieure à la prévalence de 30,9% chez les Américains de 20 à 59 ans (Flegal et coll. 2010). Quelques études ont aussi mesuré la prévalence d'obésité chez des pompières américaines (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 Prévalence d'obésité chez des pompières de différentes régions des États-Unis.

Auteurs	Critère d'obésité	Statut d'emploi	N	Âge (années) $\bar{X} \pm \text{ÉT}$	Région	%
Jahnke et coll. (2012)	$\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Temps plein	18	$33,1 \pm 8,9$	Vallée du Missouri	16,7
	CT >88 cm					17,6
Jahnke et coll. (2012)	$\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$ (mesuré)	Volontaire	13	$34,1 \pm 11,1$	Vallée du Missouri	15,4
	CT >88 cm					38,5

Li et coll. (2017)	IMC ≥ 30 kg/m ² (mesuré)	Temps plein Volontaire	76	38,0 \pm 10,1	Colorado	10,5
	CT >88 cm					5,3

Les résultats présentés dans ce tableau suggèrent que la prévalence d'obésité chez les pompières est inférieure à celle observée chez les pompiers si on compare les mêmes régions (Vallée du Missouri et Colorado). Cependant, tel que mentionné précédemment, il serait pertinent de mener de nouvelles études considérant le nombre limité de participantes. Enfin, contrairement aux hommes, les pompières américaines semblent présenter une prévalence d'obésité inférieure aux Américaines de 20 à 59 ans (36,1%) (Flegal et coll. 2010).

La prévalence d'obésité (IMC ≥ 30 kg/m²) est de 41 et 61% chez les pompiers ayant subi respectivement un événement cardiaque non mortel et mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne (Geibe et coll. 2008). De plus, Yang et coll. (2013) rapportent aussi une prévalence d'obésité de 63% chez les pompiers de moins de 45 ans décédés d'un événement cardiaque au travail en présence d'une maladie coronarienne. Ces auteurs ont aussi démontré que les pompiers obèses ont deux (IC95% : 1,3 – 3,8) fois plus de risque de décéder d'un événement cardiaque au travail en présence d'une maladie coronarienne indépendamment des autres facteurs de risque. Enfin, selon Korre et coll. (2016), l'IMC est un excellent prédicteur indépendant de la masse du ventricule gauche chez les pompiers.

1.2.1.1.5 Inactivité physique

Le métier de pompier se caractérise par de longues périodes d'inactivité ou de travail à faible intensité (Kales et coll. 2007). De plus, malgré l'absence de données officielles, on remarque que les pompiers permanents travaillent fréquemment en temps supplémentaire comme pompier ou dans une autre occupation. Ceci a pour effet de réduire leur temps disponible pour pratiquer de l'activité physique de loisir de façon régulière. L'inactivité physique est un facteur de risque des MCV (Mann et coll. 2014). Une personne est considérée physiquement inactive lorsqu'elle ne pratique pas suffisamment d'activité physique, c'est-à-dire au moins 30 minutes à intensité

moyenne (3 à 5,9 METs) au moins trois fois par semaine lors des trois derniers mois (Pate et coll. 1995). L'inactivité physique chronique peut engendrer entre autres de l'inflammation chronique, de la résistance à l'insuline, de la dysfonction endothéliale et un gain de masse adipeuse augmentant ainsi le risque de développer de l'HTA, de la dyslipidémie, du DT2 et de l'obésité (Mann et coll. 2014). Aucune étude n'informe sur la prévalence d'inactivité physique chez les pompiers selon les critères de Pate et coll. (1995). Cependant, Durand et coll. (2011) observent que 80% des pompiers pratiquent moins de 150 minutes d'activité physique aérobie à intensité moyenne par semaine, la durée minimale d'activité physique par semaine recommandée par l'ACSM (2018) et l'Organisation mondiale de la Santé (2010). Cette prévalence est supérieure à celle observée chez les hommes des États-Unis qui est d'environ de 50% (Harris et coll. 2013). Durand et coll. (2011) observent aussi que les pompiers pratiquant moins d'activités physiques ont une capacité cardiorespiratoire moindre et un profil sanguin lipidique, glucidique et inflammatoire plus favorable au développement des MCV. Par contre, dans cette étude, il n'était pas possible de discriminer les effets bénéfiques de la pratique d'activités physiques de ceux de la capacité cardiorespiratoire des participants. Williams (2001) rapporte néanmoins une relation négative entre la pratique d'activités physiques ou la capacité cardiorespiratoire et le risque de développer une maladie coronarienne : les résultats montrent que la capacité cardiorespiratoire réduit significativement plus le risque de développer une maladie coronarienne comparativement à la pratique d'activités physiques. Pour prévenir le développement de l'HTA, de l'obésité, de la dyslipidémie et du DT2 chez les pompiers, il serait donc important de promouvoir la pratique d'activités physiques dans le but d'éviter l'inactivité physique et pour accroître leur capacité cardiorespiratoire. Plusieurs auteurs considèrent en effet la capacité cardiorespiratoire comme étant un important prédicteur de la santé cardiovasculaire chez les pompiers (Baur et coll. 2011; Baur et coll. 2012; Donovan et coll. 2009).

1.2.1.1.6 Tabagisme

Le tabagisme est reconnu comme étant le facteur de risque modifiable le plus important des MCV (Mann et coll. 2014). Il contribue grandement au développement de l'HTA, de la dyslipidémie et du DT2 en augmentant le niveau d'inflammation chronique, la résistance à l'insuline, l'oxydation des LDL-C dans la paroi vasculaire, l'adhésion de molécules

inflammatoires aux cellules endothéliales et l'agrégation plaquettaire et en perturbant la fonction endothéliale (Mann et coll. 2014). Plusieurs études ont mesuré la prévalence du tabagisme chez des pompiers américains (Tableau 1.4).

Tableau 1.4 Prévalence de tabagisme chez des pompiers de différentes régions des États-Unis.

Auteurs	Statut d'emploi	N	Âge (années) $\bar{X} \pm \text{ÉT}$	Région	%
Baur et coll. (2011)	Temps plein	598	39,5 \pm 8,6	Mid-Ouest	17,7
Durand et coll. (2011)	Temps plein	527	37,2 \pm 8,6	Kansas Missouri	12,0
Gaughan et coll. (2014)	Temps plein	401	36	Mid-Ouest	8,5
Li et coll. (2017)	Temps plein Volontaire	933	37,1 \pm 9,8	Colorado	3,8
Poston et coll. (2011b)	Temps plein	478	38,2 \pm 9,9	Vallée du Missouri	13,0
Soteriades et coll. (2005)	-	332	29,0 \pm 4,1	Massachusetts	8,9
Soteriades et coll. (2008)	-	329	39,2 \pm 7,0	Massachusetts	11,2

La prévalence du tabagisme chez les pompiers américains semble dépendre de la région étudiée. En se basant sur les études citées dans le tableau 1.4, elle semble inférieure chez les pompiers américains que chez les Américains de 18 à 64 ans qui présentent une prévalence d'environ 20 à 25% (CDC 2012). De plus, Jahnke et coll. (2012) mesurent des prévalences respectives de 22,2% et 15,4% chez 18 pompières à temps plein et 13 volontaires de la Vallée du Missouri. Ces prévalences sont semblables à la prévalence rapportée de 16 à 20% chez les Américaines de 18 à 64 ans (CDC 2012). Toutefois, Li et coll. (2017) mesurent une prévalence de 6,3% chez

76 pompières du Colorado. Tout comme chez les pompiers, la prévalence du tabagisme chez les pompières américaines semble dépendre de la région étudiée.

La prévalence de tabagisme est de 24% chez les pompiers ayant subi un événement cardiaque non mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne (Geibe et coll. 2008) et de 40% (Geibe et coll. 2008) et 49% (Kales et coll. 2003) chez les pompiers décédés d'un événement cardiaque au travail et souffrant d'une maladie coronarienne. Le risque de subir un événement cardiaque mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne non-diagnostiquée est neuf (IC95% : 3,3 – 22,5) fois plus élevé et ce, indépendamment des autres facteurs de risque chez les pompiers fumeurs de moins de 60 ans (Kales et coll. 2003). Geibe et coll. (2008) rapportent aussi que, chez les pompiers, le risque qu'un événement cardiaque au travail en présence d'une maladie coronarienne soit mortel est quatre (IC95% : 1,6 – 8,5) fois plus élevé chez les fumeurs, indépendamment des autres facteurs de risque. Enfin, Yang et coll. (2013) observent que, chez les pompiers de moins de 45 ans et indépendamment des autres facteurs de risque, les fumeurs ont un risque quatre (IC95% : 1,9 – 6,7) fois supérieur à celui des non-fumeurs de décéder d'un événement cardiaque au travail.

1.2.1.1.7 Âge

Un âge égal ou plus élevé que 45 et 55 ans, chez les hommes et les femmes respectivement, est considéré comme étant un facteur de risque des MCV (Gibbons et coll. 2002). Plusieurs changements physiologiques occasionnés par le vieillissement augmentent le risque d'HTA, de dyslipidémie et de DT2 et, par conséquent, du développement d'une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG. On observe entre autres un durcissement artériel, une diminution de la fonction endothéliale, une augmentation de cytokines inflammatoires prothrombotiques en circulation, une augmentation de la coagulabilité sanguine et une diminution de la sensibilité aux stimulations du système parasympathique (Mann et coll. 2014).

Aux États-Unis, l'âge moyen des pompiers de sexe masculin décédés au travail suite à un événement cardiaque entre 1999 et 2014 et dont le rapport d'autopsie est disponible est de 49 ± 9 ans (Smith et coll. 2018a; 2018b). Le taux de décès des pompiers américains au travail suite à

un événement cardiaque en présence d'une maladie coronarienne est croissant d'un groupe d'âge à l'autre (Kales et coll. 2007). De plus, chez les pompiers de moins de 60 ans, le risque de subir un événement cardiaque mortel au travail en présence d'une maladie coronarienne non-diagnostiquée est six (IC95% : 2,4 – 16,0) fois plus élevé chez les pompiers de 45 ans et plus, ce indépendamment des autres facteurs de risque (Kales et coll. 2003).

Les pompiers plus âgés auront été exposés aux facteurs de risque des MCV sur une plus longue durée de temps. Ceci peut potentialiser les effets des changements physiologiques sur le risque de développer une MCV. Par exemple, Baur et coll. (2012c) montrent que le déclin de la capacité cardiorespiratoire lié à l'âge, causé par des changements physiologiques tels qu'une diminution du débit cardiaque maximal (Mann et coll. 2014), est plus rapide chez les pompiers ayant un surplus de poids et un faible niveau de pratique d'activité physique.

Considérant le vieillissement de la population québécoise, la proportion de pompiers âgés de plus de 45 ans sera plus importante dans les années à venir. Certaines mesures telles que la promotion de saines habitudes de vie, la passation régulière de tests médicaux et l'attribution de tâches/rôles appropriés à l'âge pourraient permettre d'amortir les effets négatifs de l'âge sur la santé cardiovasculaire des pompiers et le risque d'événements cardiaques.

1.2.1.1.8 Sexe

Avant la ménopause, les femmes présentent un risque plus faible de développer une MCV en comparaison aux hommes principalement parce qu'elles ont des concentrations sanguines d'oestrogènes supérieures (Mann et coll. 2014). Celles-ci ont un rôle cardioprotecteur en diminuant la concentration plasmatique en LDL-C et la résistance à l'insuline et en augmentant la concentration plasmatique en HDL-C (Mann et coll. 2014). Yang et Reckelhoff (2011) mentionnent que ces hormones réduisent le stress oxydatif et l'inflammation, améliorent la fonction vasculaire et peuvent même inhiber les voies de signalisations cellulaires impliquées dans l'hypertrophie cardiaque pathologique. Chez les femmes ménopausées ou celles ayant subi une ovariectomie bilatérale, la sécrétion d'oestrogènes est grandement diminuée, ce qui élimine les effets cardioprotecteurs dont elles bénéficiaient. C'est pourquoi les pompières dans l'étude

1 (Article 2) de cette thèse ont été questionnées si elles étaient ménopausées ou avaient subi une hystérectomie avec ovariectomie bilatérale.

1.2.1.2 Facteurs de risque spécifiques au métier de pompier

Plusieurs facteurs spécifiques au métier de pompier augmentent aussi le risque de développer une maladie coronarienne et une cardiomégalie/HVG. Il en est question dans la présente section.

1.2.1.2.1 Stress psychologique chronique

Au cours de leur carrière, les pompiers sont exposés à différentes situations pouvant générer du stress psychologique de façon chronique. Tout d'abord, le métier de pompier est caractérisé comme exigeant une charge de travail irrégulière et sporadiquement très importante et qui ne permet qu'un faible contrôle sur les conditions de travail (Guidotti 2016, appuyé sur le modèle de Karasek 1979). Ce modèle est basé sur l'hypothèse selon laquelle une inadéquation entre un faible contrôle sur les conditions de travail et une importante demande en termes de charge de travail peut engendrer du stress psychologique chronique. Guidotti (2016) identifie plusieurs facteurs pouvant augmenter le risque de stress psychologique chronique chez les pompiers tels que la faible latitude décisionnelle, les règles hiérarchiques strictes, le manque de confiance entre coéquipiers et avec les supérieurs, l'imprévisibilité de la charge et de la durée de travail et l'horaire de travail par quarts. Une autre source significative de stress chez les pompiers est la présence d'une douleur physique chronique causée par une blessure (Beaton et coll. 1996), une proportion importante de pompiers se blessant régulièrement au Québec (Cloutier et Champoux 2000). En effet, le ratio du nombre total de blessures par année sur le nombre total de pompiers exposés par année est de 0,537. Ce ratio suggère qu'environ un pompier sur deux se blesse une fois par année.

De plus, les pompiers sont fréquemment exposés à des événements pouvant provoquer un trouble de stress post-traumatique tel qu'être témoin d'un décès ou témoin/victime de blessures graves, d'événements effrayants, etc. Chez ce groupe de travailleurs, la fréquence, la durée et l'intensité des événements traumatiques sont associées à un risque plus élevé de développer

cette problématique. D'autres facteurs comme les années de service, une moins bonne camaraderie en caserne, un âge avancé, une demande d'aide insuffisante, la fuite devant un problème, des troubles de santé mentale, un stress quotidien au travail accentué, une mauvaise estime de soi, des conflits personnels, une mauvaise santé physique générale, de mauvaises stratégies d'adaptation et un soutien social insuffisant peuvent aussi l'influencer (Guidotti 2016). Corneil et coll. (1999) rapportent que la prévalence du trouble de stress post-traumatique ou des symptômes associés est plus élevée, en Amérique du Nord, chez les pompiers (17-22%) que dans la population générale (7-9%).

Un niveau élevé de stress psychologique chronique peut avoir divers effets délétères sur la santé cardiovasculaire à long terme. De façon directe, cet état provoque une stimulation chronique du système nerveux sympathique (SNS) et de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien pouvant engendrer de l'inflammation chronique, de la résistance à l'insuline, une élévation de la glycémie et de la lipémie, de la dysfonction endothéliale, une augmentation de l'activité plaquettaire et une élévation de la vasoconstriction (Mann et coll. 2014). Par conséquent, le risque d'HTA, de dyslipidémie, de DT2 et d'obésité viscérale est accentué. De façon indirecte, le stress psychologique chronique peut aussi provoquer ces changements physiologiques via la perturbation du sommeil (Guidotti 2016) et l'adoption de comportements de santé défavorables tels que le tabagisme, l'alcoolisme, le sédentarisme et de mauvaises habitudes alimentaires (Mann et coll. 2014).

Le niveau de stress psychologique semble donc être une variable importante à considérer lorsqu'on étudie le risque de développer une MCV. Plusieurs outils ont été mis sur pied pour l'évaluer comme l'échelle de stress perçu développée par Cohen et coll. (1983) puis traduite et validée en français par Quintard (1994). Celle-ci évalue la fréquence à laquelle les situations de la vie ou du travail sont généralement perçues comme imprévisibles, incontrôlables ou surchargées. Les items du questionnaire évaluent le stress en général sans axer sur des événements ou des expériences spécifiques. Par ailleurs, cet outil semble pertinent pour mesurer le stress psychologique chez les pompiers. Lee et coll. (2014) ont observé une corrélation positive entre le score obtenu avec l'échelle de stress perçu et le stress relié au travail chez des pompiers. Ce dernier groupe d'auteurs ainsi qu'Arbona et Schwartz (2016) rapportent aussi une

corrélation positive entre le score obtenu à l'échelle de stress perçu et les symptômes du trouble de stress post-traumatique chez des pompiers.

1.2.1.2.2 Exposition chronique au bruit

Soteriades et coll. (2011) proposent un modèle présentant l'exposition chronique au bruit chez les pompiers comme étant potentiellement un facteur de risque d'HTA, de dyslipidémie, de DT2 et d'obésité viscérale. Tomei et coll. (2010) proposent l'hypothèse que l'exposition chronique au bruit cause une activation du SNS et de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien via le lien anatomique entre le système auditif et le système limbique. Leur stimulation chronique aurait alors des effets semblables au stress psychologique chronique. Le modèle de Soteriades et coll. (2011) laisse présumer que les pompiers sont exposés de façon chronique à du bruit en milieu de travail. Toutefois, plusieurs études révisées par la Federal Emergency Management Association (1992) et Tubbs (1995a) rapportent que l'exposition au bruit n'excède généralement pas l'exposition liminale permise de 90 décibels A (dBA) pour l'équivalent de huit heures par jour (Occupational Safety and Health Association). La majorité de ces études qui ont calculé l'exposition quotidienne des pompiers au bruit ont observé qu'elle est généralement de moins que 50% de la limite permise. Ainsi, l'exposition chronique au bruit ne semble pas être un facteur de risque des MCV de premier ordre chez les pompiers.

1.2.1.2.3 Exposition chronique aux contaminants de la fumée

Les pompiers sont exposés de façon chronique aux contaminants de la fumée avant, pendant et après l'extinction de l'incendie. Ceci pourrait augmenter le risque des MCV par le biais de différents mécanismes potentiels incluant l'augmentation de la formation de radicaux libres menant à la stimulation de voies métaboliques pro-inflammatoires et l'augmentation de la fréquence cardiaque (FC) et la pression artérielle au repos (Simkhovich et coll. 2009). Ces processus peuvent causer de la dysfonction endothéliale et accélérer la progression d'athérosclérose, les contaminants pénétrant dans l'organisme par les voies d'absorption digestive, cutanée et respiratoire. La contamination peut être directe ou croisée. Par exemple, les pompiers sont exposés directement aux contaminants de la fumée pendant la lutte contre un

incendie malgré le port de l'équipement de protection personnelle (EPP) et de l'appareil de protection respiratoire individuel autonome (APRIA). Il est démontré que des particules présentes dans la fumée s'infiltrèrent à l'intérieur de l'EPP et se déposent sur la peau au niveau des poignets, des jambes, de la tête et surtout du cou (Jeffrey et Grace 2015) (Figure 1.3).

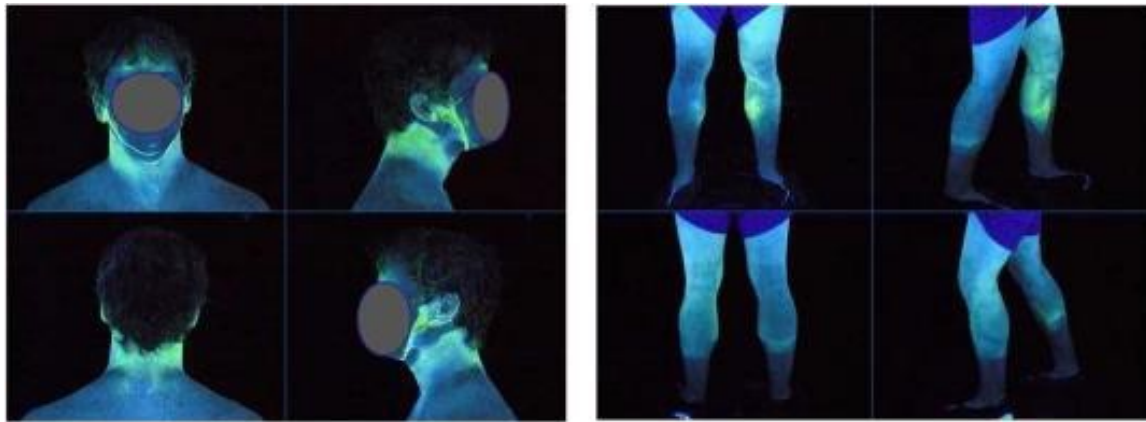


Figure 1.3 Photographies en ultraviolet illustrant le dépôt de particules fines sur différentes parties du corps chez une personne vêtue d'un EPP de pompier s'étant exposée pendant 30 minutes en laboratoire à un environnement où l'air était gorgé de particules fines simulant la fumée d'un incendie.

Source : Jeffrey et Grace (2015).

Selon Kirk et Logan (2013), l'EPP standard est conçu avant tout pour protéger les pompiers de la chaleur de l'incendie, mais il ne limite que très peu l'entrée des contaminants de la fumée. De plus, il est possible que l'importante accumulation de chaleur et d'humidité entre la peau et l'EPP favorise l'absorption des contaminants par voie cutanée (Fent et coll. 2013). Les pompiers peuvent aussi inhaler, ingérer et être en contact avec des contaminants de la fumée lors des opérations de déblai et de recherche des circonstances et des causes de l'incendie suite à l'extinction d'un incendie lorsqu'ils ne portent pas leur APRIA et leurs gants. La contamination croisée quant à elle survient principalement lorsque les pompiers touchent ou inhalent des contaminants s'étant déposés, par exemple, sur les EPP, les outils de travail ou des débris de l'incendie ou lorsqu'ils ingèrent de la nourriture contaminée par leurs mains. Des études ont démontré que les pompiers sont souvent exposés aux contaminants par inhalation lorsqu'ils se trouvent près des EPP non lavés surtout en milieu clos, non ventilé et chauffé (Fent et coll. 2015;

Kirk et Logan 2015). En plus d'augmenter le risque des MCV, l'inhalation chronique de particules fines peut aussi engendrer des problèmes respiratoires tels qu'une bronchite chronique et ainsi accentuer la contrainte cardiaque lors d'un effort donné (Guidotti 2016).

1.2.1.2.4 Effets chroniques des quarts de travail

Au Québec, les pompiers permanents ont tous le même horaire de travail régulier, c'est-à-dire l'horaire du Syndicat des pompiers et pompières du Québec. Pour chaque cycle de 4 semaines, l'horaire consiste en 6 quarts de jour de 10 heures (7h00 à 17h00), six quarts de nuit de 14 heures (17h00 à 7h00) et un quart de 24 heures pour une moyenne de 42 heures par semaine. En plus de l'horaire de travail par quarts, les pompiers permanents réalisent fréquemment du temps supplémentaire en tant que pompier ou dans une autre occupation lors des journées de congé prévues à l'horaire régulier.

Puttonen et coll. (2010) rapportent que le travail par quarts, défini comme étant du travail à des heures variables, inhabituelles ou irrégulières, peut perturber le rythme circadien. Ils suggèrent que cette perturbation engendre à long terme un stress psychologique chronique et ses conséquences sur la santé cardiovasculaire précédemment discutées par l'augmentation du stress au travail et d'un déséquilibre travail-vie personnelle. Regehr et coll. (2005) rapportent que le travail par quarts chez les pompiers est une cause importante de la perturbation de la vie familiale. Toujours selon Puttonen et coll. (2010), la perturbation du rythme circadien peut engendrer indirectement des changements physiologiques nuisibles à la santé cardiovasculaire à cause de l'adoption de comportements défavorables tels que le tabagisme, le sédentarisme et de mauvaises habitudes alimentaires. Holmes et coll. (2001) et van Amelsvoort et coll. (2000) proposent aussi que la perturbation du rythme circadien, tout comme la perturbation de la qualité du sommeil (Wolk et coll. 2005), peut provoquer une stimulation chronique du SNS et de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien pouvant alors créer de l'obésité viscérale, de l'inflammation, de la résistance à l'insuline, une élévation de la glycémie et de la lipémie, de la dysfonction endothéliale, une élévation de la FC et de la vasoconstriction. Par conséquent, le risque d'HTA, de dyslipidémie, et de DT2 est accentué, lesquels à leur tour augmentent le risque de maladie coronarienne et de cardiomégalie/HVG.

1.2.1.2.5 Alimentation en caserne

La nature imprévisible des appels en caserne peut mener à des heures de repas irrégulières, rendant ainsi commode ou attrayant pour les pompiers la nourriture de la restauration rapide (Soteriades et coll. 2011). Il a aussi été démontré que le travail par quarts favorise ce choix alimentaire (Lowden et coll. 2010). Ces repas, à haute densité calorique, haut indice glycémique et souvent riches en glucides simples et raffinés, en gras trans et en sodium, accentuent le risque d'HTA, de dyslipidémie et de DT2 via entre autres le gain important en masse adipeuse (obésité), l'augmentation de la résistance à l'insuline et la perturbation de la fonction vasomotrice (Mann et coll. 2014). « La culture de la caserne de pompiers » est aussi reconnue pour les recettes riches en lipides et denses en glucides simples et raffinés (Soteriades et coll. 2011). Yang et coll. (2014) rapportent dans une étude transversale chez des pompiers américains qu'une meilleure observance aux habitudes alimentaires méditerranéennes est associée à un risque diminué de syndrome métabolique (Risque relatif (RR) : 0,65, IC95% : 0,44 – 0,94) et à un risque moins élevé de gain de poids dans les cinq dernières années (RR : 0,57, IC95% : 0,39 – 0,84). Les habitudes alimentaires méditerranéennes se caractérisent par une consommation élevée d'huile d'olive, fruits, légumes, pains et céréales non-raffinés, patates, légumineuses et noix, une consommation modérée de poisson et volaille, une faible consommation de produits laitiers, viande rouge, viande transformée et sucreries et une consommation modérée de vin rouge lors des repas (Sofi et coll. 2010). Enfin, il est important de souligner que ces habitudes alimentaires sont à privilégier en caserne, mais aussi dans la vie de tous les jours considérant qu'une mauvaise alimentation peut aussi être considérée comme un facteur de risque de MCV non-spécifique au métier de pompier.

1.2.2 Contrainte cardiovasculaire au travail

La réalisation des tâches du métier de pompier peut engendrer une contrainte cardiovasculaire importante et, de ce fait même, être l'élément déclencheur d'un événement cardiaque. Smith et coll. (2018b) rapportent qu'environ 33% des décès au travail chez les pompiers dus à un événement cardiaque se produisent lors du combat d'un incendie, une situation qui représente seulement 1% de leur temps de travail tel que mentionné précédemment (Kales et coll. 2007). Smith et coll. (2018b) rapportent aussi qu'environ 11% des décès dus à un événement cardiaque

se produisent lors de la réponse à une alarme, ce qui à son tour correspond à seulement 4% du temps de travail (Kales et coll. 2007). Le combat des incendies présente un risque relatif d'événement cardiaque fatal d'environ 87 (IC95% : 59,4 – 127,1) fois plus important que le risque encouru pendant la réalisation des tâches non urgentes du métier (Smith et coll. 2018b). Cette donnée témoigne de l'importance de la contrainte cardiovasculaire dans le déclenchement d'événements cardiaques au travail chez les pompiers. Le tableau 1.1 présente le risque relatif de subir un événement cardiaque au travail chez les pompiers selon les catégories de tâches.

Tableau 1.5 Les décès au travail chez les pompiers dus à un événement cardiaque (1999 à 2014).

Tâches	Décès (%)	Temps de travail (%)	RR (IC95%)
Combat des incendies	32,7	1	86,7 (59,4 – 127,1)
Réponse aux alarmes	10,6	4	7,0 (4,0 – 11,8)
Retour des interventions	3,9	7	1,5 (0,6 – 3,1)
Entraînement physique	19,7	8	6,5 (4,2 – 10,1)
Services urgents sans incendie et services médicaux d'urgence	8,6	15	1,5 (0,8 – 2,7)
Tâches non urgentes et tâches à la caserne	24,5	65	1

Tableau adapté de Kales et coll. (2007) et Smith et coll. (2018b). RR : Risque relatif.

Il est important de noter aussi que le risque relatif d'événement cardiaque fatal en présence d'une maladie coronarienne et d'une cardiomégalie/HVG lors du combat des incendies porte à 112 (IC95% : 73,1 – 174,0) plutôt que 87 fois le risque encouru pendant la réalisation des tâches non urgentes du métier (Smith et coll. 2018b). Ceci témoigne de l'impact des MCV dans le déclenchement d'événements cardiaques au travail chez les pompiers, tel que discuté précédemment.

Une sténose coronarienne sévère (une obstruction d'au moins 75%) a été constatée dans 60% des cas d'événement cardiaque mortels chez les pompiers, dont environ 54% (ou 32% de tous les cas) montraient une sténose coronarienne sévère dans plusieurs artères (Smith et coll. 2018a) alors que des études réalisées auprès de la population générale rapportent que plus de 95% des cas de mort subite d'origine cardiaque ont une sténose coronarienne sévère, la majorité des victimes ayant une sténose coronarienne sévère dans plusieurs artères (Farb et coll. 1995; Liberthson et coll. 1974; Perper et coll. 1975). La différence de prévalence de sténose

coronarienne sévère entre les pompiers et la population générale suggère que la contrainte cardiaque subie lors de la réalisation des tâches du métier de pompier peut déclencher un événement cardiaque même chez les individus dont la maladie coronarienne est moins avancée.

De façon générale, l'événement cardiaque chez les individus atteints d'une MCV est fréquemment déclenché par une augmentation de la contrainte cardiovasculaire par divers mécanismes (Mittleman et Mostofsky 2011; Wolk 2000). Tout d'abord, l'activité électrique cardiaque peut être perturbée par une augmentation de la stimulation du SNS et une diminution de la stimulation du système nerveux parasympathique (SNP), pouvant ainsi provoquer une arythmie cardiaque. Ensuite, l'augmentation de la stimulation du SNS et la diminution de la stimulation du SNP augmentent la charge de travail cardiaque, ce qui peut provoquer un déséquilibre entre le besoin et l'apport myocardique en oxygène, une autre cause possible d'arythmie cardiaque. Cette double condition peut aussi causer un état d'hypercoagulabilité ou provoquer la rupture d'une plaque d'athérosclérose, favorisant une thrombose et, par conséquent, une ischémie myocardique ou un infarctus du myocarde. Toutefois, tel que mentionné précédemment, la majorité des événements cardiaques mortels analysés chez les pompiers ne semblent pas être causés par un infarctus du myocarde, mais plutôt par une arythmie ventriculaire due à une perturbation de l'activité électrique cardiaque découlant d'une contrainte cardiovasculaire importante et de modifications structurelles du myocarde, ou bien par une arythmie ventriculaire associée à une ischémie aiguë causée par une importante contrainte cardiovasculaire (demande myocardique en oxygène élevée) et une sténose coronarienne (apport myocardique en oxygène limité).

1.2.2.1 Facteurs qui augmentent la contrainte cardiovasculaire au travail

La variation de la contrainte cardiovasculaire lors de la réalisation des tâches du métier de pompier est influencée par plusieurs éléments. Le type et la taille de l'incendie et de la structure incendiée, les ressources humaines et matérielles disponibles, les stratégies et tactiques employées, les tâches réalisées, le rôle joué ainsi que le statut d'emploi peuvent influencer les réponses physiologiques du pompier (Horn et coll. 2013; Horn et coll. 2015; Horn et coll. 2018; Petruzzello et coll. 2016; Romet et Frim 1987; Smith et coll. 2016). Outre ces éléments, certains

autres facteurs caractéristiques du combat d'incendies augmentent systématiquement la contrainte cardiovasculaire des pompiers. Il est toutefois difficile de quantifier l'impact de chacun des facteurs sur la contrainte cardiovasculaire des pompiers lors de la réalisation des tâches étant donné qu'ils ont des effets concomitants. Ces différents facteurs sont identifiés et détaillés dans la section suivante.

1.2.2.1.1 Effort physique

Les tâches des pompiers telles que le transport et l'utilisation de matériel et d'outils lourds, la montée d'escaliers/échelles, l'entrée par effraction, la création de ventilation pour le bâtiment, la recherche-sauvetage d'une victime et le combat pour éteindre le feu demandent un effort physique considérable. Il est important de noter que toutes ces tâches sont réalisées avec le port d'un EPP, d'un APRIA et d'outils qui ont comme effets d'augmenter l'exigence physique, notamment par l'ajout d'une charge pondérale considérable (Duggan 1988), d'environ 25 kg (Gledhill et Jamnik 1992), par la restriction de la capacité/efficacité de mouvement (Teitlebaum et Goldman 1972), par la résistance mécanique du détendeur de l'APRIA à la respiration (Eves et coll. 2005) et par la contrainte imposée par le harnais sur le mouvement du thorax, gênant ainsi le mouvement respiratoire (Louhevaara et coll. 1985). Il est aussi important de noter que le port de l'APRIA augmente la pression intrathoracique, accentuant ainsi la diminution du retour veineux causée par l'hyperthermie et la déshydratation (Nelson et coll. 2009) tel qu'il en sera discuté dans les sections suivantes.

Plusieurs études rapportent que, lors de simulations d'intervention, la réalisation des tâches habituelles à un rythme de travail réaliste engendre une augmentation significative de la consommation d'oxygène jusqu'à environ 23,4 à 29,1 $\text{mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en moyenne (Elsner et Kolkhorst 2008; Ensari et coll. 2017; Gledhill et Jamnik 1992; Kesler et coll. 2018) et peut même atteindre 44 à 44,5 $\text{mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Gledhill et Jamnik 1992; von Heimburg et coll. 2006). Une telle demande en oxygène est associée à une contrainte cardiovasculaire importante via l'augmentation de la stimulation du SNS, la diminution de la stimulation du SNP et l'augmentation de la coagulabilité sanguine (Mittleman et Mostofsky 2011). Une meilleure capacité cardiorespiratoire pourrait alors permettre aux pompiers d'alléger leur contrainte

cardiovasculaire pour une même intensité de travail (Holmér et Gavhed 2007; Sheaff et coll. 2010; Smith et coll. 2016), considérant que la filière énergétique aérobie est la plus sollicitée lors d'une simulation d'intervention (Perroni et coll. 2010). Ceci explique pourquoi la National Fire Protection Association (NFPA) suggère que les pompiers aient une capacité cardiorespiratoire minimale de 12 METs ($VO_{2max} \geq 42 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) pour être en mesure de réaliser toutes les tâches du métier (NFPA 2018). De façon respective, Baur et coll. (2011), Baur et coll. (2012b), Durand et coll. (2011), Kaipust et coll. (2019) et Poston et coll. (2011a) rapportent que 57, 57, 37, 56, 66% des pompiers ont une capacité cardiorespiratoire sous le seuil minimal suggéré de 12 METs. Jahnke et coll. (2012) rapportent pour leur part que 84% des pompières ont une capacité cardiorespiratoire inférieure à 12 METs. Dans leur étude, Baur et coll. (2011), Baur et coll. (2012b) et Durand et coll. (2011) ont mesuré la capacité cardiorespiratoire des pompiers à l'aide d'un test progressif jusqu'à effort maximal réalisé sur tapis roulant. Ce type de test est optimal pour obtenir une mesure précise de la capacité cardiorespiratoire. Cependant, l'électrocardiographie et la supervision d'un médecin/cardiologue sont exigées pour les participants présentant un risque moyen ou élevé de MCV (ACSM 2018), ce qui peut compromettre la faisabilité d'une étude. L'estimation de la capacité cardiorespiratoire à l'aide d'un questionnaire validé devient alors une option intéressante. Jahnke et coll. (2012), Kaipust et coll. (2019) et Poston et coll. (2011a) ont estimé la capacité cardiorespiratoire des pompiers de leur étude à l'aide du questionnaire *Self-Report of Physical Activity (SRPA)*, validé par Jackson et coll. (1990). La proportion de pompiers ayant une capacité cardiorespiratoire inférieure à 12 METs ne semble pas influencée par la méthode utilisée considérant que, par exemple, Baur et coll. (2011), Baur et coll. (2012b) et Kaipust et coll. (2019) rapportent des proportions similaires chez des pompiers de la même région malgré le fait qu'ils n'ont pas employé le même outil de mesure. Pour estimer la capacité cardiorespiratoire d'un grand nombre de pompiers et pompières du Québec, le questionnaire Huet est une excellente option considérant qu'il a été validé en français (Trivel et coll. 2004). Une corrélation de 0,88 a été observée entre l'estimation de la capacité cardiorespiratoire obtenue avec ce questionnaire et la capacité cardiorespiratoire mesurée lors d'un test progressif jusqu'à effort maximal réalisé sur ergocycle chez des personnes âgés de 15 à 69 ans.

Le pourcentage de graisse peut aussi influencer la contrainte cardiovasculaire lors de la réalisation de diverses tâches du métier de pompier. Williford et coll. (1999) ont observé que le temps de réalisation d'une tâche demandant de monter des escaliers était plus long chez les pompiers possédant un pourcentage de graisse plus élevé. Ceci suggère que les pompiers ayant un pourcentage de graisse plus élevé subissent une plus grande contrainte cardiovasculaire pour une même intensité de travail principalement lors de tâches nécessitant de soulever son propre poids comme l'ascension d'escaliers.

On observe que plusieurs tâches réalisées lors d'une intervention sont semblables à des exercices en résistance. Ces derniers, par une augmentation de la stimulation du SNS et une réduction de la stimulation du SNP, peuvent provoquer une élévation modeste de la FC mais une élévation majeure de la pression artérielle systolique (PAS) lorsque l'intensité de l'effort est très élevée, engendrant une augmentation de la consommation myocardique en oxygène estimée par le produit fréquence-pression ($FC \times PAS$) (Kitamura et coll. 1972; Nelson et coll. 1974; Smith et Fernhall 2011). Une augmentation de la force musculaire pourrait alors réduire la contrainte cardiaque subie lors de tâches demandant un effort musculaire important, considérant qu'une même charge absolue représentera une charge relative moindre (Smith et coll. 2016). McCartney et coll. (1993) et Sale et coll. (1994) rapportent une FC et une PAS inférieure pour une même charge absolue suite à plusieurs semaines d'entraînement en musculation, ce qui suppose une baisse du besoin en oxygène du myocarde.

Enfin, la majorité des tâches précédemment énumérées sollicitent de façon importante les membres supérieurs et pourraient occasionner une augmentation accrue de la contrainte cardiaque. La consommation myocardique en oxygène estimée à partir du produit fréquence-pression (Kitamura et coll. 1972; Nelson et coll. 1974) est significativement plus élevée lors d'un effort réalisé avec les membres supérieurs que lors d'un effort d'une même demande métabolique réalisé avec les membres inférieurs (Wahren et Bygdeman 1971).

1.2.2.1.2 Effort physique soudain

Tel que déjà mentionné, les pompiers passent beaucoup de temps à réaliser des tâches physiquement non exigeantes ou sédentaires, en attente d'appels requérant leur intervention. Ces activités peuvent être soudainement interrompues par un effort physique considérable lorsque l'alarme sonne en caserne et augmenter la contrainte cardiovasculaire par l'augmentation de la stimulation du SNS, la diminution de la stimulation du SNP et l'augmentation de la coagulabilité sanguine (Mittleman et Mostofsky 2011). Barnard et Duncan (1975) ont observé une augmentation moyenne de la FC des pompiers de 47 bpm environ 15 à 30 secondes après le retentissement de l'alarme. Kuorinka et Korhonen (1981) ont pour leur part observé que la FC des pompiers augmentait en moyenne de 61 bpm entre la valeur de repos tout juste avant le retentissement de l'alarme et la valeur de la plus haute FC atteinte dans les minutes suivant le retentissement de l'alarme. Ces deux groupes d'auteurs ont aussi observé des variations anormales de l'activité électrique cardiaque dans plusieurs cas chez ces pompiers considérés en santé. Même si elles étaient non pathologiques, ces variations n'ont pas été observées lors du test préliminaire à intensité sous-maximale permettant d'estimer leur capacité cardiorespiratoire. De plus, d'autres études ont aussi démontré qu'un effort physique court et soudain à haute intensité peut provoquer des altérations de l'activité électrique cardiaque de participants sains chez qui aucune anomalie n'avait été observée lors d'un test préliminaire à intensité quasi-maximale sur tapis roulant (Barnard et coll. 1973a; Barnard et coll. 1973b). Ces chercheurs observent dans leur étude que respectivement 20 et 30% des altérations de l'activité électrique cardiaque étaient des signes d'ischémie cardiaque et pourraient avoir résulté d'un déséquilibre entre l'apport et la demande sous-endocardique en oxygène (Barnard et coll. 1973b; Monroe et coll. 1972). Barnard et coll. (1973a) et Barnard et coll. (1973b) observent qu'une période d'échauffement permet d'éliminer la quasi-totalité de ces variations de l'activité électrique cardiaque. Toutefois, l'imprévisibilité des appels d'urgence rend impossible la planification d'une période d'échauffement pour les pompiers, contiguë au retentissement de l'alarme en caserne.

1.2.2.1.3 Contrainte thermique

Les pompiers voient leur température corporelle centrale augmenter de façon importante lorsqu'ils combattent un incendie. Ce changement physiologique a un impact direct et indépendant sur l'élévation de la contrainte cardiovasculaire (Fehling et coll. 2015; Gonzalez-Alonso et coll. 1997). L'hyperthermie à l'exercice engendre entre autres une élévation de la contrainte cardiovasculaire principalement via le mécanisme suivant (Rowell et coll. 1966) : la FC augmente pour compenser la diminution ou l'incapacité d'augmenter du volume d'éjection systolique (VES), qui résulte d'une chute du volume sanguin central et donc du retour veineux, provoquée par une augmentation de la circulation sanguine cutanée. L'élévation de la température corporelle centrale augmente aussi la coagulabilité sanguine (El-Sayed et coll. 2005).

À ce jour, aucune étude n'a été réalisée pour mesurer la température corporelle centrale des pompiers lors d'un réel incendie. Toutefois, plusieurs études ont été menées pour la mesurer à l'aide d'une sonde rectale ou gastro-intestinale lors de simulations d'intervention, lesquelles consistaient à réaliser diverses tâches spécifiques au métier à un rythme réel et dans un bâtiment en flammes.

Pour de courtes interventions allant de 12 à 24 minutes, les études rapportent une augmentation de la température corporelle centrale des pompiers d'environ 0,6 à 1,3°C (0,032 à 0,067°C/min), atteignant ainsi des valeurs maximales de 38,1 à 38,8°C (Burgess et coll. 2012; Colburn et coll. 2011; Horn et coll. 2011; Horn et coll. 2015; Hostler et coll. 2016; Hunter et coll. 2017; Lane-Cordova et coll. 2015; Petruzzello et coll. 2016; Romet et Frim 1987; Smith et coll. 2011; Smith et coll. 2014a; Smith et coll. 2014b; Smith et coll. 2016b; Rossi 2013). Hostler et coll. (2016) ont aussi mesuré une élévation supplémentaire de 1,5°C suite à l'ajout d'une phase de travail additionnelle de 15 minutes et de deux périodes de repos de 10 minutes après chaque phase de travail. Enfin, suite à deux phases de travail consécutives de 5 minutes 30 secondes suivies d'une période de repos de 10 minutes et d'une autre phase de travail d'environ 6 minutes, Smith et coll. (2001b) et Smith et coll. (2005) ont observé une augmentation de la température corporelle centrale de 1,4°C atteignant 38,1°C.

Suite à de longs cycles de travail de trois heures composés de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes, Fernhall et coll. (2012) et Yan et coll. (2012) ont mesuré une augmentation de 1,8°C atteignant 38,9°C. Horn et coll. (2013) ont pour leur part mesuré une température corporelle centrale de 38,7°C, soit une augmentation de 1,8°C, après un cycle de même durée toutefois composé de phases de travail de 15-30 minutes intercalées de périodes de récupération de 20-40 minutes. Ces mêmes auteurs rapportent des taux d'élévation de la température corporelle centrale de 0,032-0,048°C/min pendant les phases de travail.

La température corporelle centrale des pompiers dépend d'une panoplie de facteurs survenant lors d'une intervention. Tout d'abord, Romet et Frim (1987) rapportent des élévations de température corporelle centrale qui diffèrent selon les tâches réalisées (0,3 à 1,3°C; 0,009 à 0,032°C/min). Quant à Horn et coll. (2018), différentes mesures d'augmentation de la température corporelle centrale sont rapportées selon les tâches réalisées ainsi que la tactique employée pour combattre l'incendie (0,6 à 1,8°C). Selon ces deux groupes d'auteurs, ceci peut s'expliquer entre autres par le fait que la température ambiante variait selon l'endroit où les différentes tâches étaient exécutées. Par exemple, les pompiers entrant dans le bâtiment en flammes étaient exposés à une température moyenne d'environ 37 à 50°C tandis que ceux restant à l'extérieur ou entrant dans le bâtiment après l'extinction de l'incendie étaient exposés à une température moyenne de 20 à 26°C (Horn et coll. 2017). Horn et coll. (2018) ont toutefois observé un taux d'élévation de la température corporelle centrale similaire entre les pompiers travaillant à l'intérieur du bâtiment en flammes et ceux travaillant à l'extérieur et exécutant des tâches physiquement très exigeantes. Romet et Frim (1987) ont observé un taux d'élévation de la température corporelle centrale différent entre deux groupes de pompiers exposés à une température ambiante similaire, mais exécutant des tâches d'intensités différentes. Selon ces deux groupes d'auteurs, cela confirme que l'effort physique joue un rôle de premier plan dans l'élévation de la température corporelle centrale chez les pompiers.

L'EPP et l'APRIA ont comme effet d'augmenter l'exigence physique du travail des pompiers et, par conséquent, la production métabolique de chaleur. Pour limiter l'augmentation de la température corporelle centrale, le corps peut perdre de la chaleur par convection, conduction

ou rayonnement lorsque la température de la peau est supérieure à la température de l'environnement (Cheung 2010). L'échange de chaleur se fait alors selon le gradient de température entre deux milieux : la chaleur se déplace du milieu chaud vers le plus froid. Lors de la réalisation des tâches du métier de pompier, la chaleur produite par l'importante activité métabolique et dissipée par convection, conduction ou rayonnement s'accumule entre la peau (sous-vêtements) et l'EPP. Malgré qu'elle soit indispensable comme protection contre la chaleur produite par le feu, l'isolation de l'EPP limite l'évacuation de cette chaleur. Ceci entrave alors la dissipation de la chaleur corporelle effectuée par ces trois moyens d'échange thermique considérant que le gradient de température entre la peau et cet environnement n'est plus favorable. Ainsi, l'évaporation, le moyen le plus efficace de refroidissement chez l'humain, devient le seul moyen d'échange thermique possible. Toutefois, l'EPP limite aussi l'évaporation de la sueur produite (Cheung 2010; McLellan et coll. 2013). Pour qu'il y ait dissipation de chaleur et refroidissement de la peau, la sueur produite par les glandes sudoripares doit être évaporée. Ce blocage crée un microclimat entre la peau (sous-vêtements) et l'EPP qui peut être indépendant de l'environnement extérieur (Figure 1.4) et qui, selon Rossi (2003), peut atteindre un taux d'humidité de 80 à 100% et une température moyenne de 48°C. Ces valeurs dépassent grandement les valeurs limites admissibles d'exposition à la chaleur de la CNESST et de la National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

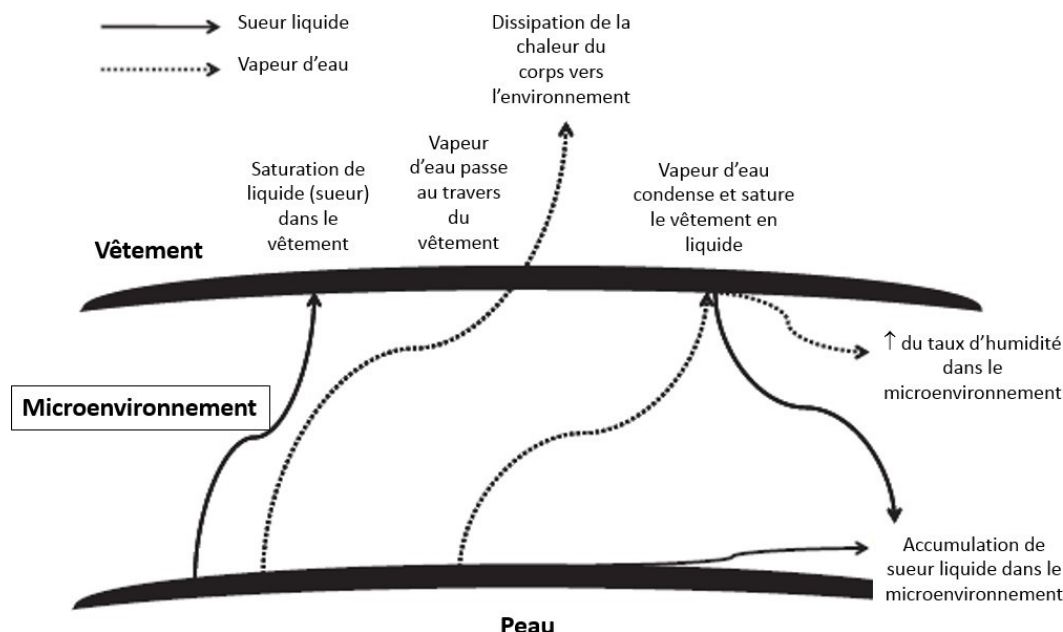


Figure 1.4 Représentation schématique simplifiée du microenvironnement créé par le port d'un EPP lors d'un effort physique. Adapté de Cheung (2010).

Ce microclimat saturé en vapeur d'eau à l'intérieur de l'EPP vient à son tour nuire à l'évaporation de la sueur et pourrait même empêcher la dissipation de la chaleur corporelle par évaporation. Cette dernière est principalement dépendante du gradient de pression de vapeur d'eau entre la peau et l'environnement. Plus le taux d'humidité est important dans l'environnement, plus la capacité de ce dernier à absorber de l'eau est limitée rendant ainsi de moins en moins efficace la perte de chaleur corporelle par évaporation. En conséquence, une augmentation de la température corporelle centrale est observée.

Même en absence d'une haute température ambiante, la production de chaleur corporelle lors d'un exercice intense est suffisante pour créer une contrainte thermique importante avec le port d'un EPP (Barr et coll. 2010). Fehling et coll. (2015) rapportent qu'en laboratoire à une température de 21°C, des pompiers revêtus d'un EPP éprouvent une contrainte thermique semblable à celle rapportée dans des incendies à une température moyenne de 71 à 82°C mesurée à 1,2 mètre du sol (Horn et coll. 2011; Smith et coll. 2011). Le port de l'EPP semble donc être le principal facteur engendrant l'augmentation de la température corporelle centrale chez les pompiers. D'ailleurs, son rythme d'augmentation semble plus élevé que chez les

marathoniens élités de niveau mondial courant le marathon en 2h10. Tel que mentionné précédemment, la température corporelle centrale chez les pompiers augmente d'environ 0,032°C à 0,067°C/min contrairement à environ 0,023°C/min chez ces marathoniens s'ils atteignent une température corporelle centrale de 40°C en fin de course (Kenefick et coll. 2007). Pourtant, ces auteurs rapportent que le travail métabolique moyen d'une personne courant un marathon en 2h10 équivaut à environ 1350 watts contrairement à environ 830 à 960 watts pour le travail des pompiers (Bugajska et coll. 2007; Holmer et Gavhed 2007).

Finalement, en plus de la chaleur radiante du feu, de la chaleur métabolique produite par l'effort physique important et de la limitation de la dissipation de la chaleur causée par l'EPP, plusieurs autres facteurs peuvent favoriser l'augmentation de la température corporelle centrale des travailleurs vêtus de vêtements de protection. Citons entre autres la déshydratation, une pratique irrégulière d'activités physiques aérobies, un haut pourcentage de masse adipeuse, une faible capacité cardiorespiratoire et un faible niveau d'acclimatation à la chaleur (McLellan et coll. 2013).

1.2.2.1.4 Déshydratation

L'importante contrainte thermique subie par les pompiers engendre une transpiration importante ayant comme fonction d'évacuer un maximum de chaleur corporelle accumulée. La perte d'eau considérable par sudation peut résulter chez ces travailleurs en un état de déshydratation. Fehling et coll. (2015) et Gonzalez-Alonso et coll. (1997) rapportent que la déshydratation a un effet indépendant sur l'augmentation de la contrainte cardiovasculaire. En plus de diminuer à son tour la capacité de dissipation de la chaleur corporelle (Casa 1999), la déshydratation à l'exercice engendre une élévation de la FC principalement par la diminution du VES résultant d'une diminution du volume sanguin total et donc du retour veineux (Adolph 1947). L'hémoconcentration engendrée par la déshydratation à l'exercice augmente aussi la coagulabilité sanguine (El-Sayed et coll. 2005).

À ce jour, aucune étude n'a été réalisée pour mesurer l'ampleur de la déshydratation des pompiers pendant et après un incendie réel. Toutefois, plusieurs études ont mesuré différentes

variables caractérisant la perte liquidienne lors de simulations d'intervention qui consistaient à réaliser diverses tâches spécifiques au métier à un rythme réel, dans un bâtiment en flammes.

Suite à une phase de travail de 18 minutes, des études rapportent une perte moyenne de 4% (Smith et coll. 2014a), 8,3% (Smith et coll. 2014b) et 9% (Smith et coll. 2011) du volume plasmatique. Ces chercheurs rapportent une hémococoncentration estimée par une augmentation moyenne significative de 5,2% de l'hématocrite (de 46,2 à 48,6%). Smith et coll. (2001b) ont pour leur part obtenu une diminution moyenne du volume plasmatique de 14,8% et une augmentation correspondante de l'hématocrite de 9,5% après deux phases de travail consécutives de 5 minutes 30 secondes suivies d'une période de repos de 10 minutes et d'une autre phase de travail d'environ 6 minutes.

Fernhall et coll. (2012), Horn et coll. (2012) et Yan et coll. (2012) ont aussi étudié la déshydratation des pompiers après un long cycle de travail de trois heures composé de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes, intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes durant lesquelles les pompiers étaient incités à boire beaucoup (eau ou boisson sportive) par une équipe formée et spécialisée pour encadrer la récupération des pompiers. Fernhall et coll. (2012) et Yan et coll. (2012) rapportent respectivement une diminution du volume plasmatique de 3,3 et 3,6%. De plus, Fernhall et coll. (2012) observent que les pompiers ont un poids moyen inférieur de 1,1% après ce long cycle de travail de trois heures. Horn et coll. (2012) ont pour leur part mesuré une augmentation moyenne de l'osmolalité salivaire de 19,2% suite à ce même cycle de travail. Dans cette étude, les pompiers ont perdu 1,9 L de sueur (0,63 L/h), c'est-à-dire 2,2% de leur masse corporelle. Le poids moyen des pompiers a alors chuté de 1,3% malgré le fait que 1) la simulation d'incendie a eu lieu lors d'une fraîche journée d'automne, 2) les pompiers devaient obligatoirement enlever leurs vêtements pendant les périodes de récupération et 3) ils étaient fortement encouragés à boire beaucoup dans les périodes de récupération tout en étant encadrés par une équipe spécialisée. Sans cet encadrement rigoureux, les pompiers auraient été davantage déshydratés. À noter que 77% des pompiers de l'étude étaient significativement déshydratés avant de débiter l'expérimentation (gravité spécifique de l'urine supérieure à 1,020).

Walker et coll. (2016) rapportent que l'hydratation *ad libitum* ne semble pas suffisante pour contrer la déshydratation active chez les pompiers combattant l'incendie d'un bâtiment, compte tenu possiblement de l'importante intensité de travail, l'insuffisance de temps de repos et le manque d'accès rapide à de l'eau/boisson.

En somme, ces données témoignent de l'importante déshydratation associée à la sudation et engendrée par la contrainte thermique subie par les pompiers au travail, même en présence de conditions visant à limiter la déshydratation.

1.2.2.1.5 Stress psychologique aigu

Les pompiers font face à des situations pouvant provoquer du stress psychologique lors d'une intervention urgente, telles l'urgence temporelle pour intervenir, le danger potentiel pour sa vie, celles des coéquipiers et celles des sinistrés, l'imprévisibilité du feu, une vue obstruée par la fumée, diverses sources de bruits et de lumières, etc. (Sluiter 2006; Smith et coll. 2013; Smith et coll. 2016; Soteriades et coll. 2011). Ces divers facteurs engendrent une augmentation de la stimulation du SNS, une diminution de la stimulation du SNP et une augmentation de la coagulabilité sanguine (Mittleman et Mostofsky 2011). Toutefois, il est particulièrement difficile d'isoler et de quantifier l'influence du stress psychologique sur la contrainte cardiovasculaire lors d'une intervention, étant donné que d'autres facteurs tels que l'effort physique, la contrainte thermique et la déshydratation y ont aussi une influence majeure.

1.2.2.1.6 Exposition aiguë aux contaminants de la fumée

Lors des différentes tâches de leur métier, les pompiers inhalent de la fumée surtout lors des opérations de déblai et de recherche des circonstances et causes de l'incendie suite à son extinction. Lors de ces tâches, les pompiers ne portent généralement pas leur APRIA. Pourtant, des études ont démontré que plusieurs contaminants tels que du monoxyde de carbone, du cyanure et du sulfure d'hydrogène, des particules fines ainsi que plusieurs autres produits chimiques (Fabian et coll. 2014) sont présents lors de ces opérations (Baxter et coll. 2010; Burgess et coll. 2001). De plus, suite à une intervention physiquement exigeante, les pompiers

ont une ventilation pulmonaire plus élevée qu'au repos, ce qui favorise l'inhalation de ces contaminants.

Le monoxyde de carbone inhalé, ayant une très grande affinité avec l'hémoglobine, se lie à celle-ci en passant par la membrane alvéolo-capillaire, réduit la disponibilité de l'hémoglobine à transporter de l'oxygène aux tissus et se lie à la myoglobine dans les muscles squelettiques et cardiaque, diminuant l'utilisation d'oxygène intracellulaire, le tout pouvant résulter en une hypoxie tissulaire (Alonso et coll. 2003). Cette hypoxie tissulaire causée par le monoxyde de carbone et d'autres asphyxiants chimiques (cyanure et sulfure d'hydrogène) peut mener à de l'ischémie myocardique particulièrement chez des pompiers atteints d'une MCV (Kales et Christiani 2004), considérant que les besoins du myocarde en oxygène sont grands, surtout lors d'une phase de travail, tel que discuté précédemment. De plus, l'inhalation de particules fines contenues dans la fumée d'incendie est associée à une augmentation de la stimulation du SNS et une diminution de la stimulation du SNP (Mittleman et Mostofsky 2011), favorisant ainsi les arythmies cardiaques (Mittleman 2007; Mittleman et Mostofsky 2011; Simkhovich et coll. 2009). Mittleman et Mostofsky (2011) et Simkhovich et coll. (2009) rapportent aussi que l'inhalation de particules fines peut causer une dépression du segment ST (ischémie myocardique) et augmenter la formation de radicaux libres menant à la stimulation de voies métaboliques pro-thrombotiques et résulter en une augmentation de la coagulabilité sanguine.

Des études ont démontré que la quantité de monoxyde de carbone lors de ces opérations peut dépasser la valeur plafond d'exposition (Bolstad-Johnson et coll. 2000), représenter un danger immédiat pour la vie et la santé (Fabian et coll. 2010; Tualatin Valley Fire & Rescue 2011), dépasser la valeur d'exposition de courte durée (Bolstad-Johnson et coll. 2000; Fabian et coll. 2010; Tualatin Valley Fire & Rescue 2011) et dépasser la valeur d'exposition moyenne pondérée (Tualatin Valley Fire & Rescue 2011). La quantité de cyanure d'hydrogène peut aussi représenter un danger immédiat pour la vie et la santé (Fabian et coll. 2010; Tualatin Valley Fire & Rescue 2011), dépasser la valeur d'exposition de courte durée (Fabian et coll. 2010) et dépasser la valeur d'exposition moyenne pondérée (Tualatin Valley Fire & Rescue 2011). Baxter et coll. (2014) observent que les particules fines peuvent être jusqu'à 400 fois plus concentrées pendant ces opérations post-incendie que dans l'air ambiant. La CNESST

recommande alors aux pompiers de porter leur APRIA lors des opérations de déblai et de recherche des circonstances et des causes de l'incendie suite à l'extinction d'un incendie. Guidotti (2016) rapporte que les effets des particules fines sur le système cardiovasculaire persistent sur plus de 24 heures. Il suggère ainsi qu'un événement cardiaque doit être considéré comme étant un événement cardiaque subi au travail chez les pompiers même s'il se produit quelques heures après le délai de 24 heures suivant une intervention.

Enfin, en plus du port de la protection faciale et du casque qui limitent la vision lors du combat de l'incendie, la fumée crée un environnement sombre et peut désorienter le pompier. Ce facteur s'ajoute aux nombreuses sources de danger et peut engendrer un stress psychologique supplémentaire causant ainsi une stimulation du SNS, un important facteur de risque d'événement cardiaque chez les pompiers (Smith et coll. 2013).

1.2.2.1.7 Exposition aiguë au bruit

Lors d'une intervention, les pompiers sont généralement exposés à du bruit provenant des alarmes/sirènes, des moteurs de véhicules et de l'équipement de sauvetage mécanisé, bruit d'une intensité moyenne de 63 à 85 dBA et pouvant excéder 90 dBA (limite permise pour l'équivalent de huit heures par jour – CNESST), voire atteindre 116 dBA (Tubbs 1995b). Ce bruit augmente la stimulation du SNS et réduit celle du SNP (Mittleman et Mostofsky 2011) par le biais d'une augmentation du stress psychologique (Van Kempen et coll. 2002), favorisant entre autres une plus grande coagulabilité sanguine (Mittleman et Mostofsky 2011), et une élévation de la pression artérielle et de la FC (Mittleman et Mostofsky 2011; Stansfeld et coll. 2000), donc de la contrainte cardiovasculaire. Les effets de l'exposition aiguë au bruit sur le contrôle vasculaire pourraient aussi provenir de l'activation du SNS via le lien anatomique entre le système auditif et le système limbique (Tomei et coll. 2010). Il a été estimé que, pour une augmentation de l'intensité du bruit de 5 dBA en milieu de travail, il y a une augmentation d'environ 0,51 mmHg de la PAS (Van Kempen et coll. 2002) : par conséquent, le bruit généré par les alarmes/sirènes (Price et Goldsmith 1998; Tubbs 1995b) l'augmenterait d'environ 5,9 à 11,8 mmHg (Kales et al. 2009; Soteriades et 2011). Selon Sawada (1993), l'influence du bruit intermittent en milieu de travail sur la pression artérielle persiste tout au long de l'exposition. Cependant, il reste à

vérifier si ces effets engendrés par l'exposition aiguë au bruit lors d'une intervention chez les pompiers sont durables ou simplement de courte durée.

1.2.2.1.8 Effets aigus des quarts de travail

Le travail par quarts peut perturber le rythme circadien (Puttonen et coll. 2010) et la qualité du sommeil (Wolk et coll. 2005) et il est associé à une augmentation de la stimulation du SNS et une diminution de la stimulation du SNP (van Amelsvoort et coll. 2000; Holmes et coll. 2001). Il est probable que l'augmentation de la contrainte cardiovasculaire engendrée par cette modification de l'activité du système nerveux autonome puisse augmenter le risque d'événement cardiaque chez les pompiers.

1.2.2.2 Réponses cardiovasculaires

La section suivante détaille les effets du combat de l'incendie sur différentes composantes cardiovasculaires, soit les systèmes cardiaque, vasculaire et hémostatique. Il est important de noter que toutes les études permettant de mesurer les effets du combat de l'incendie sur la réponse cardiovasculaire ont été réalisées chez des participants sains. Il est alors probable que ces études sous-estiment les réponses physiologiques engendrées par le combat de l'incendie chez des pompiers atteints d'une MCV.

1.2.2.2.1 Réponses cardiaques

Lors du combat d'un incendie, la FC s'élève de façon importante et peut même atteindre la FC maximale (FC_{max}) de l'intervenant. Des chercheurs ont mesuré la FC moyenne de pompiers lors de la suppression d'un incendie réel. Sothmann et coll. (1992) ont mesuré une FC moyenne de groupe de $88 \pm 6\%$ de la FC_{max} mesurée, avec des valeurs moyennes individuelles entre 79 et 97% lors d'une phase de travail d'une durée moyenne de 15 minutes (8 à 28 minutes). Barnard et Duncan (1975) ont observé que, dans la majorité des cas, la FC des pompiers âgés de 23 à 42 ans atteignait des valeurs allant de 175 à 195 bpm lors des premières minutes d'intervention.

Plusieurs autres études ont été réalisées pour mesurer la FC des pompiers lors de simulations d'intervention qui consistaient à réaliser diverses tâches spécifiques au métier à un rythme réel et dans un bâtiment en flammes. Pour des courtes interventions allant de 12 à 20 minutes, des études rapportent une FC moyenne de 80% (Smith et coll. 2016a) et de 84% (Lane-Cordova et coll. 2015) de la FC_{max} estimée (à partir de l'âge) et de 82% de la FC_{max} mesurée (Horn et coll. 2015). Pour ces mêmes durées d'intervention, des études rapportent une FC finale (à la fin de l'intervention) de 83-93% de la FC_{max} estimée (Burgess et coll. 2012; Colburn et coll. 2011; Horn et coll. 2011; Petruzzello et coll. 2016; Smith et coll. 1997; Smith et coll. 2011; Smith et coll. 2014a; Smith et coll. 2014b). Des études rapportent aussi une FC pic de 98% de la FC_{max} mesurée (Horn et coll. 2015) et de 93% (Smith et coll. 2016a) et 100% (Burgess et coll. 2012; Lane-Cordova et coll. 2015; Smith et coll. 2016b) de la FC_{max} estimée. Al-Zaiti et coll. (2015) ont aussi observé que, lors d'une phase de travail d'une durée moyenne de 24 minutes, 71% des pompiers ont atteint une FC pic équivalente à leur FC_{max} mesurée. De plus, suite à deux phases de travail consécutives d'environ 5 minutes 30 secondes à 7 minutes suivies d'une période de repos de 10 minutes et d'une troisième phase de travail d'environ 5 minutes 30 secondes à 7 minutes 15 secondes, Smith et coll. (1998, 2001a, 2001b, 2005) ont mesuré une FC finale de 98-99% de la FC_{max} estimée.

Enfin, pendant de longs cycles de travail de trois heures composés de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes, Fernhall et coll. (2012) et Yan et coll. (2012) ont mesuré une FC pic moyenne équivalente à la FC_{max} moyenne estimée. Horn et coll. (2013) ont pour leur part mesuré, lors des quatre phases de travail de 15-30 minutes intercalées par des périodes de récupération de 20-40 minutes, des FC moyennes de 75 à 86% de la FC_{max} estimée. Ces mêmes auteurs rapportent aussi une FC pic moyenne de 97 à 100% de la FC_{max} estimée.

Bien qu'elle soit fréquemment estimée par l'augmentation de la FC, l'augmentation de la contrainte cardiaque lors du combat d'un incendie peut être caractérisée par d'autres variables physiologiques. Smith et coll. (2001a) rapportent une diminution de 35% du VES en position assise après une simulation d'intervention dans un bâtiment en flammes composée de trois phases de travail d'environ 7 minutes chacune et d'une période de repos de 10 minutes. Fernhall

et coll. (2012) ont pour leur part mesuré une diminution de 13% du VES suite à un cycle de travail de trois heures composé de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes. De plus, ces auteurs rapportent des diminutions significatives du volume télédiastolique du ventricule gauche, de la vitesse maximale du débit sanguin transmitral en début de diastole et de la fraction de raccourcissement de surface du ventricule gauche. À l'instar de la diminution du VES, ces changements de fonction ventriculaire peuvent refléter une diminution de la pré-charge cardiaque (Fernhall et coll. 2012). Cependant, les auteurs rapportent aussi une diminution de 19% de la vitesse maximale de relaxation ventriculaire en début de diastole mesurée à la paroi latérale. Ce paramètre se voit être un marqueur de la fonction lusitrope (relaxation diastolique) (Fernhall et coll. 2012) qui dépend moins de la pré-charge que les autres mesures précédemment énumérées (Firstenberg et coll. 2001; Opdahl et coll. 2009). La réalisation d'un long cycle de travail semble donc causer une diminution de la pré-charge cardiaque ainsi que de la fonction ventriculaire diastolique en elle-même, celle-ci attribuée à de la fatigue myocardique induite par l'exercice (Middleton et coll. 2006).

Pour leur part, Yan et coll. (2012) se sont intéressés au couplage ventriculo-artériel mesuré sur l'artère carotide commune droite par Doppler carotidien. Après un long cycle de travail de trois heures composé de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes, intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes, ces chercheurs ont mesuré une diminution d'environ 28% de l'amplitude de l'onde 1, une variable fortement corrélée à la contractilité ventriculaire gauche (Ohte et coll. 2003). Selon Yan et coll. (2012), ce résultat suggère que le fait de combattre un incendie sur une longue période de temps peut engendrer une diminution de la fonction ventriculaire systolique.

Suite à une phase de travail de 18 minutes, Horn et coll. (2011) rapportent quant à eux une diminution de 30% du ratio de viabilité sous-endocardique, reflétant ainsi une diminution de la perfusion sanguine myocardique relative à la charge de travail cardiaque. Conjointement, ils observent une augmentation de 80% du produit fréquence-pression, reflétant une augmentation de la consommation myocardique en oxygène (Kitamura et coll. 1972; Nelson et coll. 1974).

Ces résultats suggèrent donc un décalage possible entre l'apport et la demande myocardique en oxygène, augmentant ainsi le risque d'ischémie.

L'activité électrique du cœur a aussi été étudiée. Angerer et coll. (2008) ne rapportent aucun changement significatif suite à une phase de travail de 30 minutes. Hunter et coll. (2017) rapportent quant à eux 39 épisodes de dépression du segment ST ($> 0,5$ mm) chez 17 des 19 pompiers durant une simulation d'intervention ou dans l'heure suivante, indiquant ainsi une ischémie myocardique. Ils ont aussi mesuré une augmentation légère mais significative de la concentration plasmatique en troponine cardiaque I, laissant supposer que les épisodes d'ischémie myocardique mesurés par la dépression du segment ST ont pu causer des lésions du myocarde. Le nombre d'épisodes n'était toutefois pas différent dans les 23 heures suivant cette phase de travail intense ou une phase de travail légère, les deux d'une durée de 20 minutes. Enfin, Al-Zaiti et coll. (2015) ont observé que, lors d'une phase de travail d'une durée moyenne de 24 minutes et pendant la période de récupération subséquente de 20 minutes, respectivement 26 et 10% des pompiers ont développé des segments ST pathologiques indiquant une ischémie myocardique (dépression $> 0,5$ mm dans les dérives V_2 et V_3 ou dépression $> 0,1$ mm dans toutes les autres dérives dans 2 dérives contiguës ou plus pour un minimum de 5 minutes). Ce dernier groupe de chercheurs mentionne aussi que 5% des pompiers ont affiché un segment ST pathologique durant la période de récupération seulement.

En somme, les études démontrent que la réalisation des tâches du métier de pompier lors de la suppression d'un incendie peut entraîner une contrainte cardiaque importante. Cette contrainte augmente le risque d'ischémie myocardique et d'arythmie cardiaque chez les pompiers, et cette augmentation du risque pourrait être encore plus importante chez les pompiers atteints d'une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG.

1.2.2.2.2 Réponses vasculaires

Fahs et coll. (2011) ont observé une augmentation de la rigidité artérielle chez des pompiers sains suite à la réalisation d'un long cycle de travail de trois heures composé de 4-5 phases de travail de 15-25 minutes intercalées par des périodes de récupération de 10-15 minutes. Une

augmentation de la rigidité artérielle peut être nuisible parce qu'elle augmente la post-charge cardiaque et, par conséquent, la charge globale du travail cardiaque (Smith et coll. 2016). La rigidité artérielle accroît le risque d'ischémie myocardique et d'arythmie cardiaque chez les pompiers atteints d'une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG. Elle peut aussi être nuisible via l'altération de la fonction vasodilatatrice telle que mesurée par Hunter et coll. (2017) suite à un cycle de travail de 20 minutes. Cette augmentation de la rigidité artérielle pourrait être un mécanisme pour compenser l'importante vasodilatation cutanée engendrée par l'hyperthermie dans le but de maintenir la pression artérielle et le débit sanguin aux tissus prioritaires tels que le cœur et le cerveau (Smith et coll. 2016). Elle pourrait aussi être une conséquence des diverses tâches réalisées lors de la simulation d'intervention, tâches qui s'apparentent à des exercices en résistance (Fahs et coll. 2011). En effet, des groupes de chercheurs ont observé une augmentation de la rigidité artérielle suite à la réalisation d'exercices en résistance (Heffernan et coll. 2007).

1.2.2.2.3 Réponses hémostatiques

Il a été démontré que les activités coagulante (Burgess et coll. 2012; Hunter et coll. 2017; Smith et coll. 2011; 2014a) et fibrinolytique (Hunter et coll. 2017; Smith et coll. 2014a) augmentent chez les pompiers immédiatement après une période de combat d'incendie d'à peine 12 minutes (Burgess et coll. 2012), 18 minutes (Smith et coll. 2011; 2014a) et 20 minutes (Hunter et coll. 2017). Toutefois, l'activité fibrinolytique retourne à sa valeur de repos deux heures après la fin de la phase de travail, ce qui n'est pas le cas pour la coagulabilité sanguine. Cet état d'hypercoagulabilité persiste à la suite d'une phase de travail et pourrait augmenter le risque de thrombose et, par conséquent, d'infarctus du myocarde, particulièrement chez des pompiers atteints d'une maladie coronarienne (El-Sayed et coll. 2005). Acil et coll. (2007) rapportent que l'augmentation de la coagulabilité sanguine suite à la pratique d'exercices physiques persiste davantage dans le temps chez les gens atteints d'une maladie coronarienne que chez les gens sains. Cet état d'hypercoagulabilité semble, entre autres, être influencé positivement par l'intensité élevée de l'exercice, l'élévation de la température corporelle ainsi que l'hémoconcentration (El-Sayed et coll. 2005). Le combat d'un incendie peut exiger un effort physique important et engendrer une contrainte thermique et une déshydratation majeures,

expliquant ainsi que cet état d'hypercoagulabilité post-exercice puisse se produire même après une courte phase de travail. Par contraste, Wallén et coll. (1999) ont observé que l'augmentation de la coagulabilité sanguine s'est prolongée pour une durée de moins d'une heure suite à un exercice progressif jusqu'à intensité maximale d'une durée moyenne de 23 minutes réalisé sur ergocycle, renforçant l'idée que la contrainte thermique et la déshydratation subies par les pompiers jouent un rôle important dans la persistance de l'état d'hypercoagulabilité suite à une phase de travail.

1.3 Problématique, objectifs et hypothèses

Tel que mentionné précédemment, le risque de subir un événement cardiaque au travail chez les pompiers est accentué par deux causes principales : la première étant la présence d'une maladie coronarienne, d'une cardiomégalie/HVG ou de dommages occasionnés par un infarctus précédent, la seconde étant l'importante contrainte cardiovasculaire subie lors de la réalisation des tâches du métier.

On constate que la prévalence des facteurs de risque MCV est élevée chez les pompiers américains, ce qui corrèle avec le nombre élevé d'événements cardiaques au travail. Toutefois, à ce jour, aucune étude n'a été réalisée dans le but d'estimer l'état de santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec. Une telle étude informerait davantage sur le risque de maladies et d'événements cardiovasculaires chez ces travailleurs. **Le premier objectif de cette thèse était donc de dresser un portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec et d'en faire la comparaison à la population québécoise.**

Hypothèse : Peu importe les groupes d'âge, la prévalence d'obésité et d'hypertension artérielle diagnostiquée chez les pompiers et pompières du Québec est similaire ou inférieure que chez la population québécoise.

Plusieurs des facteurs contribuant au développement des MCV et à l'augmentation de la contrainte cardiovasculaire sont modifiables, c'est-à-dire qu'il est possible, dans une certaine

mesure, de les prévenir de différentes façons et donc de réduire le risque d'événement cardiaque au travail chez les pompiers.

Tout d'abord, le risque de développer une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG chez les pompiers pourrait être réduit si, notamment, ils bénéficiaient d'un examen et d'un suivi régulier de leur santé cardiovasculaire et de leur condition physique et s'ils adoptaient et maintenaient de saines habitudes de vie. Des habitudes permettant entre autres de réduire le risque de MCV via la pratique régulière d'activités physiques, une saine alimentation et une abstention de tabagisme (Mann et coll. 2014). Certains groupes de chercheurs ont étudié les effets de l'implantation d'un programme de promotion de la santé en milieu de travail chez les pompiers (Rachele et coll. 2014; Wolkow et coll. 2013). Peu de services de sécurité incendie au Québec disposent d'un programme de promotion de la santé en milieu de travail. Néanmoins, plusieurs permettent aux pompiers de faire du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail, ce qui pourrait contribuer à augmenter leur quantité d'activités physiques hebdomadaire et à améliorer leur santé cardiovasculaire. **Le deuxième objectif de cette thèse était donc de comparer la pratique hebdomadaire d'activités physiques et l'état de santé cardiovasculaire des pompiers qui font et qui ne font pas de conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail.**

Hypothèse : Les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pratiquent plus d'activités physiques par semaine au total et présentent de meilleurs indicateurs de santé cardiovasculaire que ceux qui n'en font pas.

Enfin, la réduction de la contrainte cardiovasculaire permettrait aussi de diminuer le risque d'événement cardiaque au travail chez les pompiers, étant donné qu'elle y agit comme « déclencheur ». Comme il a été discuté dans les sections précédentes, certaines adaptations physiologiques/biologiques telles que l'acclimatation à la chaleur (McLellan et coll. 2013), l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire (Holmér et Gavhed 2007; McLellan et coll. 2013; Perroni et coll. 2010; Sheaff et coll. 2010; Smith et coll. 2016) et musculaire (McCartney et coll. 1993; Sale et coll. 1994; Smith et coll. 2016) et la diminution du pourcentage de graisse (Horn et coll. 2013; McLellan et coll. 2013) permettraient de réduire la contrainte

cardiovasculaire lors de la réalisation des tâches du métier de pompier. De plus, des stratégies pourraient être envisagées lors d'une intervention pour réduire la contrainte cardiovasculaire subie telles qu'une réduction de l'exposition aiguë à la fumée, l'alternance des tâches lors de l'intervention (Horn et coll. 2018; Romet et Frim 1987), une hydratation adéquate avant, pendant et après l'intervention (Walker et coll. 2016), la pratique de techniques efficaces de refroidissement (McEntire et coll. 2013) ainsi que l'octroi de périodes de repos suffisantes entre les phases de travail. Par ailleurs, la NFPA recommande aux pompiers de bénéficier d'une période de récupération minimale de 10 minutes après l'épuisement du premier réservoir d'air conventionnel de 45 minutes et d'une période de récupération minimale de 20 minutes après l'épuisement d'un second réservoir conventionnel de 45 minutes. Cependant, après avoir utilisé un réservoir d'air conventionnel de 45 minutes, les pompiers, pour diverses raisons, ne prennent généralement qu'une très courte période de récupération pour changer leur réservoir, boire un peu d'eau et retourner rapidement au feu. Il est probable que cette pratique ait pour effet une augmentation significative de la contrainte cardiovasculaire et, par conséquent, du risque d'événement cardiaque. **Ainsi, le troisième objectif de cette thèse était de comparer et caractériser la contrainte cardiaque engendrée par deux interventions simulant les tâches du métier de pompier constituées de deux phases de travail identiques entrecoupées d'une période de récupération passive écourtée de 5 minutes ou d'une période de récupération passive de 20 minutes.**

Hypothèse : L'augmentation de la contrainte cardiaque sera significativement plus élevée lorsque les deux phases de travail identiques qui constituent l'intervention seront entrecoupées d'une période de récupération passive écourtée de 5 minutes plutôt que d'une période de récupération passive de 20 minutes. De plus, cette augmentation supérieure de la contrainte cardiaque sera disproportionnée à l'augmentation de la dépense énergétique.

Chapitre 2. Article 1 – Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters

Ce chapitre inclut le premier article de cette thèse qui a été publié dans la revue « Journal of Occupational and Environmental Medicine » en 2018.

Gendron, P.^{1,2}, Lajoie, C.¹, Laurencelle, L.¹, & Trudeau, F.¹ (2018). Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(6), e300-e306.

Affiliations des auteurs :

[1] Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières

[2] Département d'anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières

Running title

CVD factors in Québec firefighters

Contribution des auteurs

Philippe Gendron	Recension des écrits et idée de recherche Élaboration de la méthodologie Recherche et collecte des données Analyses statistiques et interprétation des résultats Rédaction et soumission de l'article
Claude Lajoie	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
Louis Laurencelle	Analyses statistiques Révision critique de l'article
François Trudeau	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article

2.1 Résumé

Objectif : Documenter la prévalence des facteurs de risque et des symptômes des maladies cardiovasculaires chez les pompiers du Québec.

Méthodologie : Sept cent soixante-dix-neuf (779) pompiers de sexe masculin (âge: $41,6 \pm 10,4$ ans; indice de masse corporelle (IMC): $28,0 \pm 3,6$ kg/m²) ont répondu à un questionnaire en ligne évaluant les habitudes de vie et la prévalence des facteurs de risque et de symptômes des MCV.

Résultats : La prévalence d'obésité ($IMC \geq 30$ kg/m²), d'hypertension diagnostiquée, de dyslipidémie diagnostiquée et de diabète de type 2 diagnostiqué était respectivement de 23,6, 12,2, 17,4 et 1,7%. Parmi les participants, 33,1 et 43,6% étaient respectivement catégorisés comme étant à risque moyen et élevé de maladie cardiovasculaire selon les lignes directrices de l'American College of Sports Medicine.

Conclusion : Une importante proportion de pompiers québécois présente un risque moyen ou élevé de maladie cardiovasculaire. Ces résultats suggèrent que les services de sécurité incendie du Québec devraient aider tous les pompiers à adopter et à maintenir de saines habitudes de vie.

Mots-clés : indice de masse corporelle, hypertension artérielle, nutrition, obésité, inactivité physique

2.2 Abstract

Objective: We aimed to document the prevalence of cardiovascular disease (CVD) risk factors and symptoms in Québec firefighters.

Methods: Seven hundred and seventy-nine (779) male firefighters (age: 41.6 ± 10.4 years; body mass index (BMI): 28.0 ± 3.6 kg/m²) answered an online questionnaire evaluating lifestyle and the presence of CVD risk factors and symptoms.

Results: The prevalence of obesity (BMI ≥ 30 kg/m²), diagnosed hypertension, diagnosed dyslipidemia and diagnosed type 2 diabetes mellitus was respectively 23.6, 12.2, 17.4 and 1.7%. Among survey participants, 33.1% were categorized as moderate and 43.6% as high CVD risk, according to American College of Sports Medicine guidelines.

Conclusions: A high proportion of Québec firefighters are at moderate to high risk of CVD. These findings suggest that Québec fire departments should help all firefighters to adopt and maintain a healthy lifestyle.

Keywords: body mass index, hypertension, nutrition, obesity, physical inactivity

2.3 Introduction

Firefighting is unique and dangerous, being one of the most demanding occupations. Many factors, such as physical work, psychological stress, heat stress, dehydration, personal protective equipment and smoke exposure, contribute to the strain on firefighters during interventions leading to vascular, cardiac and hemostatic responses (1,2). This cardiovascular strain may trigger cardiovascular events through several physiological mechanisms, especially in those persons with underlying disease (2). As mentioned in this last cited literature review, elevated shear stress may cause rupture of a vulnerable plaque resulting in thrombus formation and the occlusion of coronary arteries. These authors also reported that electrical, mechanical and biochemical dysfunction of the cardiac muscle may result from an imbalance between the myocardial oxygen demand and supply.

Epidemiological data reveal that sudden cardiac death (SCD) is the leading cause of on-duty mortality in this occupational group (3): it is reported that cardiovascular disease (CVD) accounted for 51% of deaths in 2015 and for 42% over the past 10 years in American firefighters. To our knowledge, there are no official databases reporting statistics of on-duty deaths of firefighters in Québec or Canada. Despite the lack of such statistics for Québec and Canada firefighters, the similarity between North American societies leads us to consider US data with some confidence. There are also similarities between Québec (4) and US (5) fire departments, such as the bulk of the population is protected by career firefighters and the majority of firefighters are not career firefighters.

Individual health and fitness status is also associated with higher risk of SCD (1,2,6). Underlying cardiovascular health status is determined principally by the prevalence of CVD risk factors. In firefighters, smoking, hypertension, type 2 diabetes mellitus (T2D), obesity and dyslipidemia are all linked with significantly greater risk of on-duty SCD (1,2,6).

Poor fitness also likely contributes to the increased risk of on-duty SCD (7) because fitter individuals experience less strain at the same intensity and can do more physical work. This is why firefighting is recognized to be an occupation where a high fitness level is necessary to

perform most job tasks and to optimize the safety of firefighters as well as people who firefighters serve (8). However, studies have shown that firefighters frequently lack high fitness levels. In the USA, Baur et al. (9), Durand et al. (10) and Poston et al. (11) observed that cardiorespiratory fitness did not exceed National Fire Protection Association (NFPA)'s suggested minimum fitness standard of 12 metabolic equivalents of task (METs) (8) in 56.3, 37.0 and 34.3% of their cohorts respectively. Some authors have also reported that the prevalence of obesity in American firefighters is high. Baur et al. (9), Durand et al. (10) and Poston et al. (11) observed obesity prevalence (body mass index (BMI) ≥ 30 kg/m²) of 36.8, 35.7 and 36.3%, respectively, in their USA cohorts.

Because of major evidence that high cardiovascular strain can occur during firefighting, because of association between cardiovascular events and underlying disease and, consequently, because SCD is the principal on-duty cause of death in American firefighters, a descriptive study is urgently needed to document the CVD risk in Québec firefighters whose actual cardiovascular health status is not known. Thus, we intended to document it for the first time and provide scientific support for health and security at work in the Québec fire service. It was hoped that results of this study could help to identify some issues on health and security at work to improve. Through a descriptive-correlational design, the purpose of the present survey was to document the prevalence of CVD risk factors and symptoms of Québec firefighters and their possible association with healthy lifestyle dimensions. In addition, following Poston et al. (11) who observed that BMI is accurate to evaluate obesity prevalence in firefighters, this simple and important parameter was included and checked for correlation with diverse health variables. Hence, a secondary purpose of the survey was to examine the association between BMI categorization and cardiorespiratory fitness, CVD risk profile, psychological stress and nutritional habits.

2.4 Methods

2.4.1 Participants

This survey was conducted during November and December 2015 among municipal firefighters in Québec. Participants recruited through municipal fire departments were sent recruitment emails with the online questionnaire website link (SurveyMonkey®) by the *Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur affaires municipales (APSAM)*. This organization could reach most of if not all municipal full-time fire department chiefs; on the other hand, only a minority of part-time and volunteer municipal fire department chiefs could be reached by APSAM. Full-time, part-time and volunteer fire department chiefs were asked to disseminate the online questionnaire website link by email to all their firefighters. In Québec, the population totals approximately 23,240 firefighters, including 5,407 full-time, 7,633 part-time and 10,200 volunteer firefighters (4). The survey was approved by the institutional ethics committee, and informed consent was obtained from all survey participants.

2.4.2 Questionnaire

Participants were asked to complete as honestly and as best they could self-report questionnaires individually. Professional information (age, sex, height, body weight, years of employment), estimated maximal oxygen consumption (VO_{2max}), CVD (heart attack, stroke, heart failure, etc.), modifiable CVD risk factors (smoking, physical inactivity, diagnosed hypertension, diagnosed dyslipidemia and diagnosed T2D), non-modifiable CVD risk factors (family history), CVD symptoms, psychological stress and nutrition (vegetable, fruit and soft drink consumption) were extracted from the questionnaire. Some participants had the same IP address associated to their responses because they had used the same PC while on duty at the same fire station. To minimize eventual repeat participants, we looked into answers of participants showing the same IP address. If answers to age, sex, height, body weight, and years of employment had been the same, those obtained earlier were to be kept. However, this did not happen.

2.4.3 Body mass index

BMI, defined as weight in kilograms divided by the square of height in meters (kg/m^2), was calculated, with obesity corresponding to BMI of 30 kg/m^2 or more.

2.4.4 Estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$

$\text{VO}_{2\text{max}}$ was estimated with the Huet questionnaire to provide valid quantification in adult populations displaying correlations with laboratory-measured $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r = 0.88$), making it an ideal field determination tool (12).

2.4.5 Smoking status

Smoking status was evaluated by questions modeled by Haddock et al. (13). Three questions (translated to French) ascertained smoking status: (1) Have you ever smoked a cigarette, even a puff? (2) Have you smoked at least 100 cigarettes in your entire life?, and (3) Have you smoked a cigarette, even a puff, in the past 30 days? Participants who answered “no” to question 1 were defined as “never smokers”. Those who answered “yes” to question 1 but “no” to question 2 were designated as experimental smokers. Participants who answered “yes” to questions 1 and 2 but “no” to question 3 were designated as ex-smokers, while firefighters who answered “yes” to all 3 questions were current smokers.

2.4.6 Psychological stress

Psychological stress was assessed by the 14-item Perceived Stress Scale (14). This questionnaire asks whether individuals perceive their lives as being unpredictable, overloaded and uncontrollable, on a 5-point Likert-like response scale ranging from “never” to “very often”. For our sample, Cohen’s alpha coefficient for this questionnaire was 0.817.

2.4.7 Nutrition

Intake of vegetables and fruits (fresh, cooked, canned, frozen) and soft drinks was quantified. Serving size was established according to recommendations of Santé Canada (15). Serving size of vegetables and fruits was 125 ml (½ cup). The serving size of soft drinks was 355 ml (can).

2.4.8 Physical inactivity

This modifiable CVD risk factor was assessed with some questions from the Huet questionnaire (12) and according to American College of Sports Medicine (ACSM) (16) guidelines. Participants who practiced usually low-intensity physical activities “that make you breathe slightly heavier” or “easy or accuracy” were considered physically inactive regardless of duration and frequency. Participants who did not practice physical activities “13 times or more per month” were considered physically inactive. Participants who did not practice physical activities at least “46 to 60 min” per session when they checked that they usually practice “those that make you breathe heavier intermittently” were considered physically inactive. Finally, participants who did not practice physical activities at least “16 to 30 min” per session when they checked that they usually practice “those that make you sweat or breathe heavier on a regular basis” were considered physically inactive.

2.4.9 Statistical analysis

Baseline characteristics were described as mean \pm SD and frequency. Binomial tests compared obesity prevalence between Québec firefighters and matched Québec’s general male subpopulation. Correlations among variables needed to be estimated indirectly, through Kendall’s rank correlation “tau” coefficient (τ), the observed distribution being sensibly non-normal, even oddly distributed (lumps of equal values, excessive skewness, etc.). τ coefficients were then converted to Pearson r coefficients with Kendall’s formula $r = \sin(\tau \cdot \frac{\pi}{2})$. Prevalence comparisons were made by chi-square test. t -tests, ANOVA and ANCOVA undertook group comparisons. Monotonic trend analyses across groups involved \bar{E} statistic (17). Basic analyses were performed with IBM SPSS Statistics 20 (Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel 2007,

complete with custom programs for group comparisons. Customized programs (ANOVA and ANCOVA for independent groups using the harmonic mean solution for unequal group sizes), complying with Winer et al. (18), were written by Dr. Louis Laurencelle. Statistical significance was considered at $P \leq 0.05$.

2.5 Results

A total of 779 male firefighters participated in this survey. However, 64 of them did not complete the questionnaire, which explains why the number of participants and degrees of freedom are reported in results. Table 2.1 presents the characteristics of participating firefighters.

Table 2.1 Participants' characteristics

Variables	<i>n</i>	
Age (years)	779	41.62 ± 10.45
Years of employment (years)	779	17.32 ± 9.97
Rank	779	
Firefighter (%)		56.6
Lieutenant/Officer (%)		29.4
Officer (%)		7.6
Chief (%)		6.4
Employment status	779	
Full-time (%)		74.5
Part-time (%)		15.4
Volunteer (%)		10.1
BMI (kg/m ²)	779	28.02 ± 3.52
Cardiovascular problems	757	

Heart attack (%)		1.2
Stroke (%)		0.4
Pacemaker/ICD (%)		0.1
Bypass surgery/angioplasty (%)		1.6
Other heart surgery (%)		1.3
Valve disorders (%)		0.5
Heart failure (%)		0.0
Heart transplant (%)		0.0
Congenital heart disease (%)		0.7
Heart arrhythmia (%)		2.5
Respiratory disease (%)		7.7
CVD symptoms	748	
Chest, neck, jaw pain/discomfort (%)		8.2
Shortness of breath (%)		8.6
Dizziness or syncope (%)		12.0
Orthopnea or sleep apnea (%)		6.0
Ankle edema (%)		5.1
Palpitations or tachycardia (%)		9.4
Intermittent claudication (%)		5.7
Known heart murmur (%)		4.7
Modifiable CVD risk factors		
Obesity (%)	779	23.6
Smoking (%)	746	8.4
Physical inactivity (%)	773	70.0
Diagnosed hypertension (%)	756	12.2
Diagnosed dyslipidemia (%)	754	17.4
Diagnosed T2D (%)	754	1.7
Non-modifiable CVD risk factors		
Family history (%)	753	16.5

≥ 45 years	779	41.3
Vegetables/fruits per day (servings)	759	4.09 ± 2.83

BMI: body mass index, VO_{2max} : maximal oxygen consumption, CVD: cardiovascular disease, ICD: implantable cardioverter defibrillator, T2D: type 2 diabetes mellitus.

2.5.1 Employment status

Age differed across employment statuses (full-time: 42.69 ± 9.64 , part-time: 38.26 ± 12.10 and volunteer: 38.86 ± 11.92 years, $F_{2,776} = 7.42$, $P \leq 0.001$). Consequently, adjustments were made for age by comparing status groups for every other variable, by ANCOVA. No significant difference was observed for BMI, estimated VO_{2max} and number of modifiable CVD risk factors before adjusting for age. Also, BMI was not different between employment statuses after adjusting for age. However, after adjustment, differences cropped up between employment statuses in estimated VO_{2max} (full-time: 46.35 ± 4.13 , part-time: 44.77 ± 5.13 , volunteer: 43.21 ± 4.32 $mlO_2 \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$, $F_{2,761} = 16.93$, $P \leq 0.001$) and in the number of modifiable CVD risk factors (full-time: 1.07 ± 0.91 , part-time: 1.20 ± 0.90 , volunteer: 1.45 ± 0.74 , $F_{2,742} = 5.18$, $P \leq 0.001$). Among the 6 modifiable CVD risk factors retained, only prevalence of physical inactivity differed between employment statuses (full-time: 67.2, part-time: 73.9, volunteer: 83.3%, $\chi^2_2 = 9.62$, $P \leq 0.001$). Additionally, psychological stress and vegetable, fruit and soft drink intakes were not significantly different between employment statuses before and after adjusting for age.

2.5.2 Rank categorization

Age also differed between hierarchical ranks (regular firefighter: 37.06 ± 10.25 , lieutenant/captain: 46.49 ± 6.69 , officer: 48.63 ± 6.10 , chief: 51.30 ± 9.14 years, $F_{3,775} = 43.52$, $P \leq 0.001$), thus needing adjustments for inter-rank comparisons. Before adjusting for age, BMI (regular firefighter: 27.12 ± 3.22 , lieutenant/captain: 28.02 ± 3.19 , officer: 29.32 ± 3.92 , chief: 28.81 ± 3.85 kg/m^2 , $F_{3,775} = 7.41$, $P \leq 0.001$), estimated VO_{2max} (regular firefighter: 48.03 ± 8.68 , lieutenant/captain: 41.49 ± 6.42 , officer: 38.70 ± 6.02 , chief: 36.21 ± 6.78 $mlO_2 \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$, $F_{3,761}$

= 39.26, $P \leq 0.001$) and number of modifiable CVD risk factors (regular firefighter: 0.99 ± 0.89 , lieutenant/captain: 1.37 ± 1.05 , officer: 1.52 ± 1.20 , chief: 1.81 ± 1.17 , $F_{3,742} = 9.78$, $P \leq 0.001$) were all different across ranks. Even with age adjustments, BMI (regular firefighter: 27.35 ± 3.26 , lieutenant/captain: 28.00 ± 3.18 , officer: 29.24 ± 3.90 , chief: 28.65 ± 3.80 kg/m², $F_{3,774} = 4.08$, $P \leq 0.001$) and estimated VO_{2max} (regular firefighter: 42.21 ± 5.45 , lieutenant/captain: 41.88 ± 4.03 , officer: 40.52 ± 3.78 , chief: 39.81 ± 4.26 mlO₂·min⁻¹·kg⁻¹, $F_{3,760} = 3.47$, $P \leq 0.05$) remained different. However, the number of modifiable CVD risk factors (regular firefighter: 1.29 ± 0.94 , lieutenant/captain: 1.35 ± 1.00 , officer: 1.42 ± 1.12 , chief: 1.60 ± 1.07 , $F_{3,741} = 1.25$) ceased to differ.

A monotonic trend in the number of modifiable CVD risk factors as a function of rank categorization was confirmed before adjusting for age ($\bar{E} = 0.038$, $k = 4$, $df = 742$, $P \leq 0.001$) but not after ($\bar{E} = 0.005$, $k = 4$, $df = 741$). Differences were observed on the psychological stress index, before adjusting for age (regular firefighter: 31.00 ± 6.90 , lieutenant/captain: 30.77 ± 6.47 , officer: 32.44 ± 7.04 , chief: 29.04 ± 6.44 , $F_{3,711} = 3.58$, $P \leq 0.05$) and after (regular firefighter: 30.41 ± 6.88 , lieutenant/captain: 30.83 ± 6.44 , officer: 32.62 ± 7.02 , chief: 29.39 ± 6.42 , $F_{3,710} = 3.37$, $P \leq 0.05$). Moreover, differences were noted between ranks for vegetable (regular firefighter: 2.35 ± 1.56 , lieutenant/captain: 2.14 ± 1.73 , officer: 1.69 ± 1.09 , chief: 1.79 ± 1.11 vegetables/day, $F_{3,755} = 4.30$, $P \leq 0.001$) and fruit consumption (regular firefighter: 2.02 ± 1.64 , lieutenant/captain: 1.88 ± 1.50 , officer: 1.46 ± 1.01 , chief: 1.56 ± 1.01 fruits/day, $F_{3,755} = 3.36$, $P \leq 0.05$) but not for soft drink intake. Vegetable, fruit and soft drink consumption was not statistically significant after adjusting for age.

2.5.3 BMI categorization

Table 2.2 compares estimated VO_{2max}, modifiable CVD risk factors, psychological stress and vegetable, fruit and soft drink consumption between BMI categories. Furthermore, the prevalence of physical inactivity ($18.5 \leq \text{BMI} < 25$ kg/m²: 61.9, $25 \leq \text{BMI} < 30$ kg/m²: 68.0, $\text{BMI} \geq 30$ kg/m²: 80.2%, $\chi^2_2 = 13.86$, $P \leq 0.001$), diagnosed hypertension ($18.5 \leq \text{BMI} < 25$ kg/m²: 3.3, $25 \leq \text{BMI} < 30$ kg/m²: 9.5, $\text{BMI} \geq 30$ kg/m²: 25.0%, $\chi^2_2 = 39.77$, $P \leq 0.001$), diagnosed

hyperlipidemia ($18.5 \leq \text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$: 5.8, $25 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$: 16.5, $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$: 27.4%, $\chi^2_2 = 23.86$, $P \leq 0.001$) and T2D ($18.5 \leq \text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$: 0.8, $25 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$: 0.2, $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$: 6.1%, $\chi^2_2 = 27.29$, $P \leq 0.001$) was different between BMI categories.

Table 2.2 Mean differences of variables by BMI categorization

	$18.5 \leq \text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$	$25 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$	$\text{BMI} \geq 30 \text{ kg/m}^2$	<i>F</i>	<i>P</i>
Age (years)	37.46 ± 10.87	41.35 ± 10.21	45.17 ± 9.57	27.87	***
-	-	-	-	-	-
<i>n</i> = 779	<i>n</i> = 128	<i>n</i> = 467	<i>n</i> = 184		
Estimated VO _{2max} (mlO ₂ ·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	49.07 ± 8.36	45.46 ± 8.22	39.49 ± 8.14	65.61	***
	46.60 ± 4.37	45.41 ± 4.35	42.02 ± 4.31	52.27	**** ^A
<i>n</i> = 765	<i>n</i> = 123	<i>n</i> = 461	<i>n</i> = 181		
Modifiable CVD risk factors (n)	0.69 ± 0.71	0.94 ± 0.78	1.32 ± 1.00	27.10	***
	0.77 ± 0.70	0.94 ± 0.75	1.23 ± 0.93	15.03	**** ^A
<i>n</i> = 746	<i>n</i> = 120	<i>n</i> = 449	<i>n</i> = 177		
Psychological stress (score)	30.16 ± 7.34	30.89 ± 6.48	31.44 ± 7.08	1.58	NS
	30.18 ± 7.34	30.89 ± 6.48	31.42 ± 7.08	1.41	NS
<i>n</i> = 715	<i>n</i> = 114	<i>n</i> = 434	<i>n</i> = 167		
Vegetables (n/day)	2.41 ± 1.66	2.18 ± 1.57	2.11 ± 1.48	2.03	NS
	2.30 ± 1.56	2.17 ± 1.53	2.22 ± 1.49	0.28	NS
<i>n</i> = 759	<i>n</i> = 121	<i>n</i> = 458	<i>n</i> = 180		
Fruits (n/day)	2.37 ± 1.95	1.87 ± 1.48	1.68 ± 1.29	10.49	***
	2.30 ± 1.89	1.87 ± 1.47	1.74 ± 1.31	6.72	**** ^A
<i>n</i> = 759	<i>n</i> = 121	<i>n</i> = 458	<i>n</i> = 180		

Soft drinks	0.71 ± 1.72	0.86 ± 1.86	1.33 ± 2.89	7.11	***
(n/week)	0.75 ± 1.77	0.86 ± 1.85	1.27 ± 2.76	4.80	*** ^A
<i>n</i> = 759	<i>n</i> = 121	<i>n</i> = 458	<i>n</i> = 180		

Data are means ± SD. BMI: body mass index; VO_{2max}: maximal oxygen consumption; CVD: cardiovascular disease; modifiable CVD risk factors: smoking, physical inactivity, diagnosed hypertension, diagnosed dyslipidemia and diagnosed T2D. ^AModel adjusted for age, ****P*≤0.001, ***P*≤0.01, NS: non-significant.

No significant differences in psychological stress were observed between BMI categories (Table 2.2). On the other hand, differences appeared between modifiable CVD risk factor categorizations (No risk factor, 1, 2 and 3-6 risk factors) before adjusting for age (no: 30.18 ± 6.94, 1: 30.80 ± 6.40, 2: 30.85 ± 7.00, 3-6: 32.50 ± 7.14, $F_{3,711} = 3.17$, $P \leq 0.05$) and after (no: 29.89 ± 6.93, 1: 30.66 ± 6.38, 2: 30.91 ± 6.98, 3-6: 32.87 ± 7.12, $F_{3,710} = 4.21$, $P \leq 0.01$). Moreover, a monotonic trend of psychological stress as a function of number of risk factors was confirmed before adjusting for age ($\bar{E} = 0.013$, $k = 4$, $df = 711$, $P \leq 0.01$) and after ($\bar{E} = 0.017$, $k = 4$, $df = 710$, $P \leq 0.001$).

2.5.4 CVD symptom categorization

Table 2.3 compares estimated VO_{2max}, modifiable CVD risk factors, psychological stress and vegetable, fruit and soft drink consumption between CVD symptom categories. Also, the prevalence of obesity (no CVD symptom: 7.1, at least 1 CVD symptom: 20.7%, $\chi^2_1 = 30.14$, $P \leq 0.001$) and diagnosed hypertension (no CVD symptom: 19.4, at least 1 CVD symptom: 30.5%, $\chi^2_1 = 12.01$, $P \leq 0.001$) differed between CVD symptom categories.

Table 2.3 Mean differences in some variables by CVD symptom categorization

	No CVD symptom	At least 1 CVD symptom	<i>F</i>	<i>P</i>
Age (years)	41.58 ± 10.15	42.04 ± 10.91	0.34	NS
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285	-	-
BMI (kg/m ²)	27.26 ± 2.93	28.39 ± 3.75	18.66	***
	27.26 ± 2.82	28.36 ± 3.62	18.57	***A
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285		
Estimated VO _{2max} (mlO ₂ ·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	45.33 ± 8.14	43.24 ± 9.60	10.16	***
	45.17 ± 4.14	43.41 ± 4.88	27.97	***A
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285		
Modifiable CVD risk factors (n)	1.05 ± 0.92	1.42 ± 1.56	23.30	***
	1.06 ± 0.85	1.41 ± 0.82	24.73	***A
<i>n</i> = 746	<i>n</i> = 462	<i>n</i> = 284		
Psychological stress (score)	30.08 ± 6.40	32.25 ± 7.13	17.80	***
	30.72 ± 6.40	32.26 ± 7.12	17.94	***A
<i>n</i> = 715	<i>n</i> = 443	<i>n</i> = 272		
Vegetables (n/day)	2.17 ± 1.57	2.11 ± 1.61	0.26	NS
	2.16 ± 1.50	2.12 ± 1.54	0.13	NS
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285		
Fruits (n/day)	1.90 ± 1.55	1.80 ± 1.51	0.90	NS
	1.90 ± 1.51	1.81 ± 1.48	0.72	NS
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285		
Soft drinks (n/week)	0.83 ± 1.88	1.10 ± 2.37	5.03	*
	0.84 ± 1.86	1.10 ± 2.31	4.75	*A
<i>n</i> = 748	<i>n</i> = 463	<i>n</i> = 285		

Data are means \pm SD. BMI: body mass index; $\text{VO}_{2\text{max}}$: maximal oxygen consumption; CVD: cardiovascular disease; modifiable CVD risk factors: smoking, physical inactivity, diagnosed hypertension, diagnosed dyslipidemia and diagnosed T2D. ^AModel adjusted for age, *** $P \leq 0.001$, * $P \leq 0.05$, NS: non-significant.

2.6 Discussion

This study is the first to assess the prevalence of CVD risk factors in Québec firefighters. Obesity prevalence among Québec male firefighters was compared with the prevalence of obesity among Québec male adults in the 2014 health census of the Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) (19) in 2 age groups. Self-reported BMI greater than or equal to 30 kg/m^2 was also the obesity criterion for Québec male adults. Between the ages of 18 to 44 years, obesity prevalence was 18.8% in both firefighters and Québec male adults. Between the ages of 45 to 64 years, obesity prevalence in firefighters (28.9%) was higher ($P \leq 0.001$) than in Québec male adults (22.1%). Another study showed a similar obesity rate in a cohort of American firefighters and the general adult USA population (11), which is troubling because firefighters are expected to be healthy and physically fit as the tasks of the profession impose high physiological demands (8).

It could be hypothesized that firefighters with elevated BMI have high muscle mass and low body fat, but could still be categorized as obese owing to the fact that the BMI does not discriminate between fat and lean mass. On the contrary, Poston et al. (11) observed that, when compared with both body fat percentage and waist circumference, the false-positive rate for BMI-derived obesity was relatively low: according to their results, firefighters with high visceral trunk adiposity or excessive body fat were rather classified in the BMI normal or overweight range. Therefore, it is likely that BMI does not overestimate the prevalence of obesity in this population.

The prevalence of self-declared hypertension in Québec male firefighters was also compared with the prevalence of self-declared hypertension in Québec male adults in 2011 (20) in 2 age groups. Between 20 to 44 years of age, the prevalence of self-declared hypertension (5.8%) was higher ($P \leq 0.05$) in Québec firefighters than in Québec male adults (3.8%). In the 45- to 64-year

age group, self-declared hypertension prevalence among Québec firefighters (19.1%) was not different from that of self-declared hypertension in Québec male adults (22.5%). Chronic high blood pressure has been associated with several adverse effects in firefighters. Kales et al. (21) have noted strong and independent associations between hypertension and on-duty death, injured on-duty, premature termination of duty, resignation, premature retirement and incident cardiovascular events in firefighters. Studies of firefighters have also shown strong and independent associations between hypertension and incident coronary heart disease (CHD) and stroke (22), CHD retirement and non-CHD cardiovascular retirement (22), on-duty CHD death (24) and on-duty CHD events (25). Moreover, hypertension with or without obesity or CHD results typically in left ventricular hypertrophy (LVH) (2), which is frequently associated with fatal arrhythmias (26). A study of American firefighters detected LVH in 76% of CHD deaths where autopsy results were available (24). Yang et al. (27) also observed, in American firefighters less than 45 years old, that heart weight among SCD cases was 100 g heavier than in trauma fatality control cases.

A percentage of 85.8 of firefighters reported at least 1 CVD risk factor other than age, 80.0% reported at least 1 modifiable CVD risk factor, 59.1% reported at least 2 CVD risk factors other than age, and 36.7% reported at least 2 modifiable CVD risk factors. At least 1 major CVD symptom was present among 38.1% of firefighters. Moreover, 13.4% had known cardiovascular, pulmonary or metabolic disease. To sum up, 33.1% were categorized as moderate CVD risk, and 43.6% as high CVD risk, when compared to ACSM guidelines. Theoretically, people categorized as moderate or high CVD risk are not supposed to engage in physical activities at intensities greater than 85% of their maximal heart rate without medical assessment by physician, whereas many studies have shown that firefighting requires high energy expenditure which, under certain conditions, approaches maximum individual physical capacity (28-30). Bugajska et al. (31) determined that firefighting tasks require energy expenditure of 50-55.5 kJ/min (~715-800 kcal/h) where firefighters may reach maximal heart rate. As mentioned previously, the number of SCD was high because of high cardiovascular strain than can trigger cardiovascular events in firefighters with underlying disease.

Significant differences were observed in estimated VO_{2max} between groups categorized on BMI in a study performed by Clark et al. (32). Estimated VO_{2max} was also significantly different between CVD symptom categories. Baur et al. (9) showed that increasing cardiorespiratory fitness has beneficial independent effects on CVD risk among firefighters. Baur et al. (7) noted that an increased number of metabolic abnormalities (clinical guidelines of metabolic syndrome) were associated with decreased cardiorespiratory fitness in firefighters in a dose-response fashion. This appears to be in concordance with our results, demonstrating that firefighters with a least 1 CVD symptom have lower estimated VO_{2max} than firefighters without CVD symptoms.

Our survey also showed significant differences in estimated VO_{2max} between groups categorized by employment status and rank in this cohort after adjustment for age. Full-time firefighters had higher estimated VO_{2max} than part-time and volunteer firefighters. In the same vein, regular firefighters had higher estimated VO_{2max} than lieutenants/captains, officers and chiefs. Furthermore, 41.6% of participants in our study did not meet NFPA's required standard of cardiorespiratory fitness. As mentioned previously, some US studies (9-11) also observed respectively that 56.3, 37.0 and 34.3% of their cohorts did not have cardiorespiratory fitness meeting NFPA's suggested minimum fitness standard of 12 METs (8). These results are very concerning, considering that cardiorespiratory fitness is an important quality to perform firefighting tasks because they significantly require aerobic metabolism (33). Gendron et al. (34) and Windisch et al. (35) demonstrated that VO_{2max} is a major predictor of air ventilation efficiency during firefighting tasks. This could help prolong intervention time during fires and, therefore, make more time available to save fire victims.

Significant differences were also observed in modifiable CVD risk factors between groups categorized on BMI. These differences showed that BMI was an important indicator of CVD risk in Québec firefighters. Other studies found that obesity and increased BMI are risk factors for job-related disability (36), incident CHD (22), on-duty CHD events (25) and CVD-induced retirement in American firefighters (23). Clark et al. (32) also saw that BMI may be related to several health problems in American firefighters. Moreover, our survey showed significant differences in BMI and modifiable CVD risk factors between groups categorized by CVD symptoms. Firefighters with at least 1 CVD symptom had higher BMI and more modifiable

CVD risk factors. In short, as cited above, BMI and modifiable CVD risk factors are linked with the presence of CVD in firefighters, as seen in the present work through CVD symptoms.

The number of modifiable CVD risk factors was also significantly different in employment status after age adjustment. Volunteer firefighters had a higher number of modifiable CVD risk factors than full-time and part-time firefighters. Our analysis discerned that physical inactivity was the only modifiable risk factor that was significantly more prevalent among volunteer firefighters than among full- and part-time firefighters. In addition to being part of the total number of modifiable risk factors, it is known that physical inactivity also increases the risk of hypertension, dyslipidemia, T2D and obesity.

Chronic psychological stress was found to negatively influence health outcomes, including CVDs (37). Low-grade inflammation, insulin resistance, dyslipidemia, hypertension and visceral obesity may all be induced by chronic psychological stress via different physiological mechanisms. In our study, firefighters with more modifiable CVD risk factors and with at least 1 CVD symptom had higher psychological stress scores. This highlights the importance of focusing on on-duty psychological support to reduce CVD risk among others.

Firefighters in the present study declared consumption of 4.09 ± 2.83 servings per day of vegetables and fruits, which was lower than the recommendation of 8-10 and 7 servings respectively for male adults between 19 and 50 years old and male adults older than 51 years, (15). Knowing that recommended consumption of vegetables and fruits decreases CVD risk and, consequently, on-duty SCD by forestalling hypertension, dyslipidemia, T2D, obesity, systemic inflammation and CHD (38), it seems pertinent to encourage firefighters to follow these recommendations. We observed that firefighters with BMI higher than or equal to 18.5 kg/m^2 and lower than 25 kg/m^2 consumed significantly more fruits than firefighters with BMI higher than or equal to 25 kg/m^2 . These mean differences and significant ($P \leq 0.01$) partial correlations (adjusted for age) of -0.111 between BMI and daily servings of fruits showed inverse correlation between fruit consumption and BMI. Significant ($P \leq 0.001$) partial correlations (adjusted for age) of -0.177 and -0.183 were also observed between the number of modifiable CVD risk factors and daily servings of fruits and vegetables, respectively. As other

studies revealed, we discerned that vegetable and fruit consumption is inversely related to obesity and CVD risk. No significant differences in vegetable and fruit consumption were evident between employment statuses and ranks.

Weekly soft drink consumption was also measured in this survey. Ingestion of sugar-sweetened beverages, including soft drinks, increases the risk of on-duty SCD by augmenting the risk of T2D, obesity, dyslipidemia, hypertension and CHD (38). In our sample of firefighters, those with BMI higher than or equal to 18.5 kg/m² and lower than 25 kg/m² consumed less soft drinks than those with BMI higher than or equal to 25 kg/m², and those with no CVD symptom consumed less soft drinks than firefighters who had at least 1 CVD symptom. Significant ($P \leq 0.01$) partial correlations (adjusted for age) of 0.136, 0.189 and 0.112 were also apparent between weekly soft drink consumption and BMI, number of modifiable CVD risk factors and the presence or not of CVD symptoms, respectively. Nonetheless, no difference in soft drink consumption was observed according to employment status or rank.

Despite the benefits that good physical fitness can bring to the on-duty health and safety of firefighters, very few fire departments in Québec assess their firefighters' physical fitness annually. Moreover, not all allow them to physically train during working hours or offer them material or financial support for their physical fitness and healthy lifestyle. This deficiency may augment the risk to firefighter health and security at work. Furthermore, few studies have measured the effects of interventions promoting healthy lifestyles in fire departments. To our knowledge, no one has determined the optimal modalities of elaborating this kind of program in fire departments.

Even if this is the first and only population-based survey of firefighter obesity to date in Québec, there are some noteworthy limitations. First, the questionnaire was a practical and cost-effective measurement tool reaching a large population. Consequently, however, all data were self-reported, which does not make it possible to know if people who did not have a medical diagnosis had any health problems (T2D, dyslipidemia and hypertension) or not. It is likely that some diabetic, dyslipidemic or hypertensive participants responded as not having T2D, dyslipidemia or high blood pressure because they ignored it. Thus, the prevalence of these 3

health problems could only be higher than reported if they all had come from actual objective assessment.

Tables 2.4 and 2.5 show length of time since the last routine medical examination and blood sample analysis in different age groups. For example, 54.4 and 57.7% of firefighters had their last routine medical examination and blood sample analysis more than 1 year before completing the questionnaire, demonstrating that objective measures for T2D, dyslipidemia and hypertension would have been preferable.

Table 2.4 Length of time since the last routine medical examination

Routine medical examination	Proportion (%)		
	18-44 years	45-64 years	All
Less than 1 year	35.9	56.9	45.6
1 to 2 years	24.8	26.5	25.4
2 to 5 years	16.5	8.5	12.8
More than 5 years	13.1	6.4	10.1
Never	9.7	1.7	6.1

Table 2.5 Length of time since last blood sample analysis

Blood sample analysis	Proportion (%)		
	18-44 years	45-64 years	All
Less than 1 year	29.6	56.9	42.3
1 to 2 years	21.1	24.8	22.7
2 to 5 years	15.8	10.2	13.2
More than 5 years	13.3	3.8	9.0
Never	20.1	4.4	12.9

Secondly, it is also possible that obesity prevalence was slightly overestimated with self-reported values of weight and height, even if measured and self-reported BMI was highly correlated (39). In addition, it is possible that unfit or physically inactive firefighters constitute a higher proportion of those declining to participate, while their inclusion could have resulted in higher overall BMI, lower cardiorespiratory fitness and unhealthier lifestyle. If this was the case, an even higher percentage of firefighters would be at high risk of CVD.

Thirdly, estimated VO_{2max} was measured according to a non-exercise method: it is a useful, low-cost tool that estimates VO_{2max} of a cohort in epidemiological studies. The questionnaire used in the present survey had demonstrated validity compared to directly-measured VO_{2max} (12). It is, therefore, possible to compare the cardiorespiratory fitness of firefighters with this parameter. However, direct measurement of VO_{2max} with gas analyzer would have been ideal for optimal accuracy of measurements.

Fourthly, it was not possible to determine the exact number of full-time, part-time and volunteer firefighters contacted by *APSAM* to participate in the study. This does not allow us to know the participation rates and the representativeness of Québec firefighter population in our sample. However, as mentioned before, most of full-time firefighters and only a minority of part-time

and volunteer firefighters were contacted, which explains the higher proportion of full-time firefighters in our sample.

2.7 Conclusion

Our results indicate that a high proportion of Québec firefighters may be categorized as moderate to high risk of CVD. These firefighters are potentially at higher risk of SCD during intervention owing to significant cardiovascular strain in firefighting work. As mentioned previously, cardiovascular strain may trigger cardiovascular events in firefighters with underlying CVD. As aptly estimated by BMI (11), obesity was found to be prevalent in Québec firefighters in the present study and associated with estimated VO_{2max} , number of modifiable CVD risk factors and fruit and soft drink consumption. A higher BMI is linked to a higher CVD risk. These findings support the idea that Québec fire departments should help all firefighters to adopt and maintain a healthy lifestyle in view of enhancing physical activity practice and fitness and decreasing obesity, thus reducing CVD risk and related problems such as disability and risk of on-duty SCD. This could be implemented through physical training, nutrition education, psychological support, etc. Future experimental studies are necessary to determine what type of modalities would be optimal in improving health and fitness in firefighters.

Clinical significance

The high CVD risk in Québec firefighters observed in this descriptive study highlights the necessity of implementing healthy lifestyle programs in every municipal fire department, promoting physical training and healthy lifestyle. This could be coordinated and supervised by fire departments and healthcare professionals, such as kinesiologists, nutritionists, nurses, physicians, psychologists, etc.

Conflicts of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

Philippe Gendron was supported by a doctoral research scholarship from Fonds de recherche du Québec en santé (FRQS). The authors thank the *Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur “affaires municipales” (APSAM)* for their help in questionnaire dissemination to several municipal fire departments in Québec. The authors also thank all municipal fire departments and unions which encouraged their employees/members to fill out the questionnaire. Finally, the authors are indebted to all firefighters who participated in this study.

2.8 References

1. Smith DL, Barr DA & Kales SN. Extreme sacrifice: sudden cardiac death in the US Fire Service. *Extrem Physiol Med.* 2013;2(1):6.
2. Smith DL, DeBlois JP, Kales SN & Horn GP. Cardiovascular Strain of Firefighting and the Risk of Sudden Cardiac Events. *Exerc Sport Sci Rev.* 2016;44(3):90-97.
3. Fahy RF, LeBlanc PR et Molis JL (2016). US Firefighters Fatalities in the United States-2015. National Fire Protection Association (NFPA).
4. Ministère de la Sécurité publique – Gouvernement du Québec. La sécurité incendie au Québec. 2012. <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-incendie/quebec>. Accessed May 19th 2015.
5. Haines HJ, Stein GP. US Fire Department profile - 2015. National Fire Protection Association (NFPA); 2017.
6. Soteriades ES, Smith DL, Tsismenakis AJ, Baur DM & Kales SN. Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. *Cardiol Rev.* 2011;19(4):202-215.

7. Baur DM, Christophi CA & Kales SN. Metabolic syndrome is inversely related to cardiorespiratory fitness in male career firefighters. *J Strength Cond Res.* 2012;26(9):2331-2337.
8. NFPA 1582. Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Department. National Fire Protection Association (NFPA). 2015.
9. Baur DM, Christophi CA, Tsismenakis AJ, Cook EF & Kales SN. Cardiorespiratory fitness predicts cardiovascular risk profiles in career firefighters. *J Occup Environ Med.* 2011;53(10):1155-1160.
10. Durand G, Tsismenakis AJ, Jahnke SA, Baur DM, Christophi CA & Kales SN. Firefighters' physical activity: relation to fitness and cardiovascular disease risk. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(9):1752-1759.
11. Poston WSC, Haddock CK, Jahnke SA, Jitnarin N, Tuley BC & Kales SN. The prevalence of overweight, obesity, and substandard fitness in a population-based firefighter cohort. *J Occup Environ Med.* 2011;53(3):266-273.
12. Trivel D, Calmels P, Léger L et al. Validity and reliability of the Huet questionnaire to assess maximal oxygen uptake. *Can J Appl Physiol.* 2004;29(5):623-638.
13. Haddock CK, Jitnarin N, Poston WSC, Tuley B & Jahnke SA. Tobacco use among firefighters in the central United States. *Am J Indust Med.* 2011;54(9):697-706.
14. Cohen S, Kamarck T & Mermelstein R. A global measure of perceived stress. *J Health Soc Behav.* 1983;385-396.
15. Santé Canada. Bien manger avec le guide alimentaire canadien. 2007. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/guides-alimentaires-canada.html>. Accessed June 5th 2017.

16. American College of Sports Medicine. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
17. Barlow RE, Bartholomew DJ, Bremner JM & Brunk HD. *Statistical inference under order restrictions: The theory and application of isotonic regression*. New York: Wiley; 1972.
18. Winer BJ, Brown DR & Michels KM. *Statistical Principles in Experimental Design*. New York: McGraw Hill Series in Psychology; 1991.
19. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Plan national de surveillance 2013-2014*.
20. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Surveillance des maladies chroniques 2011*.
21. Kales SN, Soteriades ES, Christoudias SG, Tucker SA, Nicolaou M, Christiani DC. Firefighters' blood pressure and employment status on hazardous materials teams in Massachusetts: a prospective study. *J Occup Environ Med*. 2002;44:669–676.
22. Glueck CJ, Kelley W, Wang P, Gartside, PS, Black D & Tracy T. Risk factors for coronary heart disease among firefighters in Cincinnati. *Am J Indust Med*. 1996;30(3):331-340.
23. Holder JD, Stallings LA, Peeples L, Burress JW & Kales SN. Firefighter heart presumption retirements in Massachusetts 1997–2004. *J Occup Environ Med*. 2006;48(10):1047-1053.
24. Kales SN, Soteriades ES, Christoudias SG & Christiani DC. Firefighters and on-duty deaths from coronary heart disease: a case control study. *Environ Health*. 2003;2(1):14.
25. Geibe JR, Holder J, Peeples L, Kinney AM, Burress JW & Kales SN. Predictors of on-duty coronary events in male firefighters in the United States. *Am J Cardiol*. 2008;101(5):585-589.

26. Tavora F, Zhang Y, Zhang M et al. Cardiomegaly is a common arrhythmogenic substrate in adult sudden cardiac deaths, and is associated with obesity. *Pathology*. 2012;44(3):187-191.
27. Yang J, Teehan D, Farioli A, BaurDM, Smith D & Kales SN. Sudden cardiac death among firefighters \leq 45 years of age in the United States. *Am J Cardiol*. 2013;112(12): 1962-1967.
28. Baker SJ, Grice J, Roby L & Matthews C. Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*. 2000;43(9):1350-1358.
29. Bos J, Mol E, Visser B & Frings-Dresen M. The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics*. 2004;47(4):446-460.
30. Gledhill N & Jamnik VK. Characterization of the physical demands of firefighting. *Can J Sport Sci*. 1992;17(3):207-213.
31. Bugajska J, Zuzewicz K, Szmauz-Dybko M & Konarska M. Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. *Int J Occup Saf Ergon*. 2007;13(3):323-331.
32. Clark S, Rene A, Theurer WM & Marshall M. Association of body mass index and health status in firefighters. *J Occup Environ Med*. 2002;44(10):940-946.
33. Perroni F, Tessitore A, Cortis C et al. Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *J Strength Cond Res*. 2010;24(12):3457-3463.
34. Gendron P, Freiburger E, Laurencelle L, Trudeau, F & Lajoie C. Greater physical fitness is associated with better air ventilation efficiency in firefighters. *Appl Ergon*. 2015;47:229-235.

35. Windisch S, Seiberl W, Schwirtz A & Hahn D. Relationships between strength and endurance parameters and air depletion rates in professional firefighters. *Sci Rep.* 2017;7.
36. Soteriades ES, Hauser R, Kawachi I, Christiani DC & Kales SN. Obesity and risk of job disability in male firefighters. *Occup Med.* 2008;58(4):245-250.
37. Black PH and Garbutt LD. Stress, inflammation and cardiovascular disease. *J Psychosom Res.* 2002;52(1):1-23.
38. Mann DL, Zipes DP, Libby P & Bonow RO. *Braunwald's heart disease: A textbook of cardiovascular medicine.* Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2014.
39. Poston WSC, Jitnarin N, Haddock CK, Jahnke SA & Day RS. Accuracy of self-reported weight, height and BMI in US firefighters. *Occup Med.* 2014;64(4):246-254.

Chapitre 3. Article 2 – Cardiovascular disease risk in female firefighters

Ce chapitre inclut le deuxième article de cette thèse qui a été publié dans la revue « Occupational Medicine » en 2018.

Gendron, P.^{1,2}, Lajoie, C.¹, Laurencelle, L.¹, & Trudeau, F.¹ (2018). Cardiovascular disease risk in female firefighters. *Occupational Medicine*, 68(6), 412-414.

Affiliations des auteurs :

[1] Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières

[2] Département d'anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières

Contribution des auteurs

Philippe Gendron	Recension des écrits et idée de recherche Élaboration de la méthodologie Recherche et collecte des données Analyses statistiques et interprétation des résultats Rédaction et soumission de l'article
Claude Lajoie	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
Louis Laurencelle	Analyses statistiques Révision critique de l'article
François Trudeau	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article

3.1 Résumé

Mise en contexte : Au Québec et à l'échelle mondiale, les pompières sont en minorité dans la population regroupant pompiers et pompières. À notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée pour étudier la prévalence des facteurs de risque des maladies cardiovasculaires chez les pompières. Des recherches futures dans ce domaine sont aussi nécessaires pour évaluer et réduire le risque d'événement cardiaque subi au travail chez les pompières.

Objectif : L'objectif de la présente étude est donc d'estimer la prévalence des facteurs de risque des maladies cardiovasculaires chez les pompières du Québec.

Méthodologie : À l'aide d'un questionnaire en ligne, la prévalence des facteurs de risque et symptômes des maladies cardiovasculaires ainsi que les habitudes de vie ont été évaluées.

Résultats : Quarante-et-une pompières (41) (âge: $38,2 \pm 9,9$ ans) ont participé à cette étude, ce qui représente 7% de la population de pompières du Québec. La prévalence de l'obésité (indice de masse corporelle ≥ 30 kg/m²), l'hypertension, la dyslipidémie, le diabète de type 2, le tabagisme et l'inactivité physique est de 12% (IC à 95% : 4% à 26%), 5% (IC à 95% : 0,6% à 19%), 5% (IC 95% : 0,6% à 19%), 3% (IC 95% : 0,1% à 14%), 14% (IC 95% : 5% à 29%) et 62% (IC 95% : 45% à 77%) respectivement. Parmi les participantes, 76% (IC95% : 59% à 88%) ont été catégorisées comme à risque moyen à élevé de maladie cardiovasculaire selon les lignes directrices de l'American College of Sports Medicine de 2013. Quatre-vingt-deux (82) pour cent des participantes ne rencontrent pas la norme de capacité cardiorespiratoire de 12 METs de la National Fire Protection Association.

Conclusion : En somme, une proportion élevée de pompières dans cette étude présente un risque moyen à élevé de maladie cardiovasculaire. Ces résultats indiquent qu'elles bénéficieraient d'initiatives en milieu de travail pour les amener à adopter et maintenir de saines habitudes de vie.

Mots-clés : facteurs de risque des maladies cardiovasculaires, pompières, hypertension artérielle, obésité

3.2 Abstract

Background: Female firefighters are in the minority in the Québec firefighter population and worldwide. To our knowledge, no study has focused on cardiovascular risk factors in female firefighters, and further research in this area is needed to evaluate and reduce the risk of on-duty sudden cardiac death (SCD).

Aims: To evaluate the prevalence of cardiovascular disease (CVD) risk factors in female firefighters in Québec.

Methods: A cross-sectional study using an online questionnaire to evaluate lifestyle and CVD risk factors and symptoms.

Results: Forty-one female firefighters (age: 38.2 ± 9.9 years) participated in this study, representing approximately 7% of all female Québec firefighters. The prevalence of obesity (Body Mass Index ≥ 30 kg/m²), hypertension, dyslipidaemia, type 2 diabetes mellitus, smoking and physical inactivity was 12% (95% CI: 4% to 26%), 5% (95% CI: 0.6% to 19%), 5% (95% CI: 0.6% to 19%), 3% (95% CI: 0.1% to 14%), 14% (95% CI: 5% to 29%) and 62% (95% CI: 45% to 77%) respectively. Among survey participants, 76% (95% CI: 59% to 88%) had moderate to high CVD risk according to the 2013 American College of Sports Medicine guidelines. Eighty-two per cent of participants did not meet the National Fire Protection Association's required cardiorespiratory fitness standard of 12 Metabolic Equivalents.

Conclusions: A high proportion of female firefighters in this study were at moderate to high risk of CVD. These findings suggest that they would benefit from healthy lifestyle initiatives.

Key words: cardiovascular risk factors, female firefighters, obesity, hypertension

3.3 Introduction

According to the Ministère de la Sécurité publique du Québec, Québec has a firefighter population of approximately 23,240, with only 611 (3%) being female. There is limited research on female firefighters, however, a study in the USA identified concerns about obesity, cardiorespiratory fitness, blood pressure and smoking [1]. Historically, female firefighters have been excluded from studies due their low numbers.

Research on the cardiovascular health of female firefighters is therefore needed to inform interventions aimed at improving health and reducing the risk of on-duty sudden cardiac death (SCD). SCD is the leading cause of on-duty mortality in American firefighters, accounting for 42% of on-duty deaths over a 10-year period [2]. Additionally, physical work, psychological stress, heat stress, dehydration, personal protective equipment and smoke exposure contribute to high cardiovascular strain in firefighters, and may increase risk of on-duty SCD, especially in those with underlying cardiovascular disease (CVD) [3]. Furthermore, CVD risk factors, such as smoking, hypertension, type 2 diabetes mellitus, obesity and dyslipidaemia, are all linked to higher risk of on-duty SCD in firefighters [3]. This study was undertaken to evaluate the CVD risk in female firefighters in Québec.

3.4 Methods

The survey was conducted in November and December 2015 in municipal firefighters in Québec. Firefighters were sent emails with an online questionnaire website link using SurveyMonkey® by the Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur affaires municipales (APSAM). A reminder email was sent two weeks later. APSAM can reach most municipal full-time fire department chiefs, but only a few part-time and volunteer municipal fire department chiefs.

The survey was approved by the institutional ethics committee, and informed consent was obtained from every survey participant. Demographic and occupational information, estimated

maximal oxygen consumption (VO_{2max}), presence of CVD, modifiable and non-modifiable CVD risk factors and CVD symptoms were extracted from the questionnaire.

Body mass index (BMI) was calculated by the researchers and obesity was defined as a BMI of 30 kg/m^2 or more. VO_{2max} was estimated with the Huet questionnaire [4], laboratory-validated at $r = 0.88$. Smoking status was evaluated with questions modelled by Haddock et al. [5]. Physical inactivity was assessed with questions from the Huet questionnaire [4] and according to 2013 American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines. Participants were considered to be physically inactive if they usually participated in low-intensity physical activities (“that make you breathe slightly heavier” or “easy or accuracy activities”) regardless of duration and frequency; if they didn’t participate in physical activities “13 times or more per month”; if they didn’t participate in physical activities at least “46 to 60 minutes” per session if they usually participated in physical activities “that make you breathe heavier intermittently”; if they didn’t participate in physical activities at least “16 to 30 min” per session if they usually participated in physical activities “that make you sweat or breathe heavier on a regular basis”.

Baseline characteristics were expressed as mean \pm SD and frequency. Clopper-Pearson’s method was used to calculate 95% CIs. Binomial tests compared obesity and hypertension prevalence between female firefighters and matched controls from the female general population in Québec. Analyses were performed using IBM SPSS Statistics 20 (Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel 2007. Statistics were considered significant at $P < 0.05$.

3.5 Results

The exact number of firefighters contacted by APSAM is unknown. A total of 41 female firefighters participated in the study, representing approximately 7% of all female Québec firefighters. However, 4 did not complete the questionnaire. Table 3.1 illustrates the characteristics of participating firefighters as well as the prevalence of CVD and CVD risk factors and symptoms.

Table 3.1 Participants' characteristics

Variables	<i>n</i>	
Age (years)	41	38.2 ± 9.9
Length of service (years)	41	6.9 ± 6.5
Rank	41	
Firefighter (%)		78
Lieutenant/Captain (%)		12
Officer (%)		7
Chief (%)		2
Employment status	41	
Full-time (%)		32
Part-time (%)		29
Volunteer (%)		39
BMI (kg/m ²)	41	23.7 ± 3.5
Cardiovascular problems	38	
Heart attack (%)		3
Stroke (%)		0
Pacemaker/ICD (%)		3
Bypass surgery/angioplasty (%)		0
Other heart surgery (%)		3
Valve disorders (%)		0
Heart failure (%)		3
Heart transplant (%)		0
Congenital heart disease (%)		0
Heart arrhythmia (%)		13
Respiratory disease (%)		16
CVD symptoms	37	

Chest, neck, jaw pain/discomfort (%)	3	
Shortness of breath (%)	8	
Dizziness or syncope (%)	19	
Orthopnoea or sleep apnoea (%)	0	
Ankle oedema (%)	14	
Palpitations or tachycardia (%)	24	
Intermittent claudication (%)	8	
Known heart murmur (%)	8	
Modifiable CVD risk factors		
Obesity (%)	41	12
Smoking (%)	37	14
Physical inactivity (%)	39	62
Diagnosed hypertension (%)	38	5
Diagnosed dyslipidaemia (%)	38	5
Diagnosed T2D (%)	38	3
Non-modifiable CVD risk factors		
Family history (%)	38	13
≥ 55 years or hysterectomy or oophorectomy	41	10

BMI: body mass index, VO_{2max} : maximal oxygen consumption, CVD: cardiovascular disease, ICD: implantable cardioverter defibrillator, T2D: type 2 diabetes mellitus. Firefighter: basic grade firefighter, Lieutenant/Captain: officer of a single team (company) and/or a fire station, Officer: operation chief or battalion chief, Chief: fire department chief and assistant chief(s).

The prevalence of obesity (Body Mass Index ≥ 30 kg/m²), hypertension, dyslipidaemia, type 2 diabetes mellitus, smoking and physical inactivity was 12% (95% CI: 4% to 26%), 5% (95% CI: 0.6% to 19%), 5% (95% CI: 0.6% to 19%), 3% (95% CI: 0.1% to 14%), 14% (95% CI: 5% to 29%) and 62% (95% CI: 45% to 77%) respectively.

At least 1 or 2 modifiable CVD risk factors were reported by 73% and 22% of female firefighters respectively. Fifty-four percent had at least 1 major CVD symptom and 32% had known cardiovascular or pulmonary disease.

In total, 11% were categorised as having moderate CVD risk and 65% as high CVD risk, according to the 2013 ACSM guidelines.

3.6 Discussion

For the 18 - 44 and 45 - 64 year age groups, the prevalence of self-reported obesity was not significantly different between age-matched female adults in Québec [6] and female firefighters (13% vs 9% and 19% vs 25%). Similarly, the prevalence of self-declared hypertension was not significantly different in the 20 - 44 (3% vs 0%) and 45 - 64 (20% vs 25%) year age groups [7]. However, a high proportion of female firefighters were found to have moderate to high CVD risk. Furthermore, 82% of participants in our study did not meet the National Fire Protection Association's required cardiorespiratory fitness standard of 12 Metabolic Equivalents [8]. This is similar to the findings of a study by Jahnke et al. [1] where 84% of female participants did not meet this standard. These results are of concern due to the importance of cardiorespiratory fitness in the performance of firefighting tasks [9].

Our study had some limitations. Firstly, all data was self-reported, which could result in reporting bias. Secondly, estimated $\text{VO}_{2\text{max}}$ was assessed using a non-exercise method. Direct evaluation of $\text{VO}_{2\text{max}}$ with a gas analyser would have been better for accuracy of measurements. Thirdly, we could not determine the exact number of firefighters contacted by APSAM, and therefore we do not know what the response rate is and whether the respondents were representative of the female Québec firefighter population.

A high proportion of respondents in this study had a significant risk of CVD. This supports the proposition that Québec fire departments should help female firefighters to adopt and maintain healthy lifestyles with the aim of enhancing fitness and decreasing obesity, and therefore reducing CVD risk and related problems such as disability and risk of on-duty SCD.

Key points:

- A high proportion of female firefighters were at moderate to high risk of cardiovascular disease (CVD).
- A high proportion of female firefighters did not meet the National Fire Protection Association's required cardiorespiratory fitness standard.
- The most prevalent CVD risk factor in female firefighters was physical inactivity.

Competing interests

All authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgements

The first author was supported by a doctoral research scholarship from Fonds de recherche du Québec en santé (FRQS). The authors thank the Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur "affaires municipales"(APSAM) for their help in questionnaire dissemination to several municipal fire departments in Québec. The authors also thank all municipal fire departments and unions which encouraged their employees/members to fill out the questionnaire. Finally, the authors are indebted to all firefighters who participated in this study.

3.7 References

1. Jahnke SA, Poston WC, Haddock CK, Jitnarin N, Hyder ML & Horvath C. The health of women in the US fire service. *BMC Women's Health* 2012; **12(1)**: 39.
2. Fahy RF, LeBlanc PR & Molis JL. *US Firefighters Fatalities in the United States-2015*. National Fire Protection Association (NFPA), 2016.
3. Smith DL, DeBlois JP, Kales SN & Horn GP. Cardiovascular Strain of Firefighting and the Risk of Sudden Cardiac Events. *Exerc Sport Sci Rev.* 2016; **44(3)**: 90-97.
4. Trivel D, Calmels P, Léger L et al. Validity and reliability of the Huet questionnaire to assess maximal oxygen uptake. *Can J Appl Physiol* 2004; **29(5)**: 623-638.
5. Haddock CK, Jitnarin N, Poston WSC, Tuley B & Jahnke SA. Tobacco use among firefighters in the central United States. *Am J Indust Med* 2011; **54(9)**: 697-706.
6. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Plan national de surveillance 2013-2014*.
7. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Surveillance des maladies chroniques 2011*.
8. NFPA 1582. *Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Department*. National Fire Protection Association (NFPA), 2015.
9. Perroni F, Tessitore A, Cortis C, Lupo C, D'Artibale E, Cignitti L & Capranica L. Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *J Strength Cond Res* 2010; **24(12)**: 3457-3463.

Chapitre 4. Article 3 – Physical training in the fire station: a cross-sectional study on firefighters’ cardiovascular health

Ce chapitre inclut le troisième article de cette thèse qui a été soumis dans la revue « Occupational Medicine » le 19 juin 2019.

Gendron, P.^{1,2}, Lajoie, C.¹, Laurencelle, L.¹, Lemoyne, J.¹, & Trudeau, F.¹ Physical training in the fire station: a cross-sectional study on firefighters’ cardiovascular health. *Occupational Medicine*. (soumis)

Affiliations des auteurs :

[1] Département des sciences de l’activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières

[2] Département d’anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières

Running title

Physical training in the fire station

Contribution des auteurs

Philippe Gendron	Recension des écrits et idée de recherche Élaboration de la méthodologie Recherche et collecte des données Analyses statistiques et interprétation des résultats Rédaction et soumission de l'article
Claude Lajoie	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
Louis Laurencelle	Analyses statistiques Révision critique de l'article
Jean Lemoyne	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
François Trudeau	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article

4.1 Résumé

Objectif : Cette étude avait pour objectif de comparer la pratique d'activités physiques et différents indicateurs de santé cardiovasculaire des pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail et des pompiers qui n'en font pas.

Méthodologie : Les participants ont pris part à une évaluation de leur santé cardiovasculaire et ont complété individuellement un questionnaire en ligne.

Résultats : Cent cinq (105) pompiers permanents ont participé à l'étude. Deux groupes ont été formés : les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail (E, n=64) et les pompiers qui n'en font pas (NoE, n=41). Après contrôle statistique pour différentes covariables, le niveau d'activité physique hors des heures de travail n'était pas différent ($P=0.496$) entre les deux groupes (E: 239 ± 224 min, NoE: 269 ± 249 min), cependant le niveau total d'activité physique était plus élevé ($P=0,035$) chez les E (381 ± 288 min) que les NoE (274 ± 200 min). Une différence a aussi été observée quant à la prévalence d'obésité mesurée avec la circonférence de taille (E: 9,4% vs. NoE: 26,9%, $P=0,026$) et la prévalence d'inactivité physique (E: 0% vs. NoE: 26,8%, $P<0,001$). Après le contrôle statistique pour différentes covariables, la circonférence de taille moyenne avait tendance ($P=0,060$) à être inférieure chez les E ($90,4 \pm 7,1$ cm) que chez les NoE ($93,2 \pm 8,0$ cm).

Conclusion : Les résultats montrent que les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pratiquent plus d'activités physiques au total sur une base hebdomadaire et présentent de meilleurs indicateurs de santé cardiovasculaire. Nos résultats suggèrent que les services de sécurité incendie devraient permettre et promouvoir le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pour tous les pompiers dans le but de réduire le risque de développer une maladie cardiovasculaire.

Mots-clés : service de sécurité incendie, risque des maladies cardiovasculaires, activité physique, promotion de la santé, santé et sécurité au travail

4.2 Abstract

Objective: This study aimed to compare the physical activity level and cardiovascular health indicators of firefighters who physically train on duty in the fire station to those who do not train.

Methods: Participants underwent a cardiovascular health assessment and completed individually an online questionnaire.

Results: One hundred and five (105) full-time male firefighters participated in the study. Two groups were formed: firefighters who physically train while on duty (E, n=64) and firefighters who do not (NoE, n=41). Following statistical adjustments, off-duty weekly PA was not different between the two groups (E: 239 ± 224 min vs. NoE: 269 ± 249 min, $P=0.496$), however total weekly PA was higher ($P=0.035$) in E (381 ± 288 min) than in NoE (274 ± 200 min). A difference was also observed in obesity prevalence measured with waist circumference (E: 9.4% vs. NoE: 26.9%, $P=0.026$) and in physical inactivity prevalence (E: 0% vs. NoE: 26.8%, $P<0.001$). After statistical adjustments, E firefighters tended to have less abdominal fat in average than NoE firefighters (E: 90.4 ± 7.1 cm vs. NoE: 93.2 ± 8.0 cm, $P=0.060$).

Conclusion: Results show that firefighters who physically train while on duty at their fire station cumulate a higher total PA level on a weekly basis and have improved cardiovascular health indicators. Our findings suggest that fire services should allow and promote physical training while on duty in the fire station for all firefighters to reduce the risk of cardiovascular diseases.

Keywords: fire service, cardiovascular disease risk, physical activity, health promotion, safety and health at work

4.3 Introduction

Physical demands, heat stress, dehydration, psychological stress and smoke exposure are part of firefighting and frequently result in high cardiovascular strain [1]. Several physiological mechanisms can trigger cardiac events, particularly in firefighters with underlying diseases [1]. Indeed, a high prevalence of cardiovascular disease (CVD) risk factors is observed in firefighters [2,3], thus increasing the risk of on-duty sudden cardiac death (SCD) [1,4,5]. Fahy et al. [6] recently reported that SCD accounts for almost half of all on-duty fatalities in American firefighters.

If only for the above reasons, fire departments may be well advised to help firefighters adopt and maintain a healthy lifestyle and thereby reduce CVD risk and related problems such as physical disability and the risk of on-duty SCD [1,4,5]. This could be implemented through health promotion programs that include physical training, nutrition education, psychological support, etc. Wolkow et al. [7] reported that combined interventions appear to be the most effective for improving the cardiovascular health of emergency service personnel.

In the sole experimental study on worksite health promotion programs for firefighters, Elliot et al. [8] focused on nutrition, physical activity and maintenance of body weight compared with medical follow-up only. They observed that intervention groups had gained weight at the one-year follow-up, but less than the control group; no improvement was observed in cardiorespiratory fitness. At the four-year follow-up, most differences between intervention and control groups had disappeared [9]. However, the positive trajectory of healthy behaviours for all groups across time suggests that the program remained beneficial more than three years after termination of the interventions. A systematic review [10] reported that studies on wellness programs at firefighter workplaces are scarce, but show some promising results, including high satisfaction with programs and promising changes in individual behaviours. Furthermore, the International Association of Fire Fighters (IAFF) and the International Association of Fire Chiefs (IAFC) developed *The Fire Service Joint Labor Management Wellness-Fitness Initiative* (WFI) in 2008 [11], a specific health promotion program for firefighters. In a cross-sectional design, Poston et al. [12] reported that firefighters from departments with WFI had healthier

body composition and a higher cardiorespiratory fitness and physical activity (PA) level than firefighters in departments without such a program.

To our knowledge, however, few fire departments in Québec have an official and diversified health promotion program. Nevertheless, many allow firefighters to physically train during working hours. On-duty physical exercise in fire stations could help heighten PA level on a weekly basis and improve cardiovascular health, as respectively 70% and 62% of male and female firefighters do not meet the recommendations of the ACSM in terms of physical activity practice [2,3]. Williams [13] reported a significant dose-response relationship between physical activity level and the risk of coronary artery disease, independently of cardiorespiratory fitness.

Using a cross-sectional design, this study aimed to compare the physical activity level and cardiovascular health of firefighters who physically train on duty in a fire station (E) vs. those who do not (NoE) based on a sample of fire departments recruited from across Québec.

4.4 Materials and methods

Participants underwent a physical health assessment, either on-duty at their station or off-duty at a research laboratory. Resting heart rate (HR), brachial blood pressure (BP), height, body weight (BW), waist circumference (WC), total cholesterol (TC) and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) were measured. They also completed individually an online questionnaire (SurveyMonkey®) as honestly and as best as they could. Items in the questionnaire included age, gender, rank, physical activity, smoking status, diabetes, psychological stress, nutrition, CVD symptoms and information about overtime. All those variables were compared between firefighters who physically train on duty in their fire station with those who do not.

4.4.1 Participants

One hundred five full-time firefighters were recruited in fire stations with or without physical training facilities from six different municipal fire departments. In Québec, all full-time firefighters have exactly the same regular work schedule from the *Syndicat des pompiers et*

pompières du Québec (Firefighters Union of Québec) [14]. For every four-week cycle, the schedule consists of six day shifts (7 a.m. to 5 p.m.), six non-day shifts (5 p.m. to 7 a.m.) and one 24-hour shift, for an average of forty-two hours per week. However, firefighters often work overtime as a firefighter or in another occupation. The study was approved by the institutional ethics committee, and informed consent was obtained from all participants.

4.4.2 Heart rate

HR was averaged on a 5-min sitting resting period after a 5-minute sitting resting period with each participant wearing a RS800CX Polar® chest belt (Kempele, Finland). Data were analyzed using Polar ProTrainer 5 software.

4.4.3 Brachial blood pressure

Resting systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) were measured four times: twice on the right arm and twice on the left arm after a 5-minute sitting resting period. All four SBP and DBP were averaged. Mean arterial pressure (MAP) was calculated as $(SBP + 2 \times DBP) / 3$. A manual sphygmomanometer (Welch Allyn, Skaneateles Falls, NY) and a Littmann lightweight stethoscope (3M Health Care, St. Paul, MN) were used for measurements, in accordance with the 2013 guidelines of the Canadian Society of Exercise Physiology [15]. Participants on antihypertensive medication or with SBP or DBP higher than or equal to 140 or 90 mmHg respectively were declared to have hypertension [16].

4.4.4 Anthropometrics measurements

Height, waist circumference (WC) and body weight (BW) (Tanita, Body Composition Analyzer BF-350, Japan) were measured. WC was measured following the CSEP guidelines [15]. BMI, defined as weight in kilograms divided by the square of height in meters (kg/m^2), was calculated. WC-obesity corresponded to a WC higher to 102 cm and BMI-obesity corresponded to a BMI higher or equal to $30 \text{ kg}/\text{m}^2$ [16].

4.4.5 Blood sample

TC and HDL-C were obtained from fingertip and analyzed (CardioChek PA, PTS diagnostics, IN, USA). The blood was applied to the CardioChek lipid test strip, which had previously been placed in the test well of the CardioChek device. Blood (30 μ L) was applied to the test strip using a pipette, and the test was run to completion. Participants on lipid-lowering medication were declared to have dyslipidemia. Participants with HDL-C lower than 1.04 mmol/L were declared to have dyslipidemia. One positive CVD risk factor was subtracted from the sum of positive CVD risk factors in participants with HDL-C higher than or equal to 1.55 mmol/L [16].

4.4.6 Physical activity

The off- and on-duty moderate and high intensity physical activity level was estimated based on questions assessing frequency and mean time of physical activity periods in a typical week. Moderate (3-5.9 METS) (resistance training, fast walking, household tasks of moderate and vigorous effort) and high (6 METS and more) (jogging, ice hockey, soccer, bicycling, circuit training) intensity levels were determined according to ACSM [16]. An illustrative compendium of physical activities was used to identify instances of moderate and high intensity physical activities [17]. Participants who did not participate in at least 30 min of moderate intensity physical activity on at least 3 days/week were declared physically inactive [16]. Participants who did not participate in at least 150 min of moderate or 75 min of high intensity did not meet the World Health Organization (WHO) physical activity recommendations [18].

4.4.7 Smoking status

Participants were considered smokers if they were current smokers or had quit within the previous 6 months [16].

4.4.8 Type 2 diabetes

Participants were considered to have type 2 diabetes (T2D) if they answered “yes” to the question “*Have you been diagnosed with type 2 diabetes?*”

4.4.9 Psychological stress

Chronic psychological stress was assessed by the 14-item Perceived Stress Scale [19]. This questionnaire measures the individuals' perception of their lives as being unpredictable, overloaded and uncontrollable, using a 5-point Likert-like response scale ranging from “never” to “very often”.

4.4.10 Nutrition

Intake of vegetables and fruit (fresh, cooked, canned, frozen) (servings/day), red/processed meat (servings/week) and sweet drinks (soft drinks, fruit juice, fruit-flavoured drinks) (servings/week) was quantified. Serving size was established based on the 2007 recommendations of Health Canada [20]. A serving size of vegetables and fruits, red/processed meat and sweet drinks was 125 ml ($\frac{1}{2}$ cup). Alcohol consumption was quantified (servings/week) and serving size was established based on the 2018 recommendations of Éduc'alcool [21].

4.4.11 CVD symptoms

The presence of CVD symptoms in the last month and the last year was asked about and dichotomized, i.e. no CVD symptom vs. at least one CVD symptom. CVD symptoms included pain/discomfort in the chest, neck or jaw, shortness of breath, dizziness or syncope, orthopnea or sleep apnea, ankle edema, palpitations or tachycardia and intermittent claudication [16].

4.4.12 Statistical analyses

Prevalence comparisons between groups were made using chi-square tests, while independent *t*-tests were used for continuous variables with and without statistical adjustment for covariates (ANCOVA). Non-normal distributions were transformed to near-normality before analysis, values being then retransformed to display means and standard deviations in the tables. Pearson partial correlations were calculated for specific parameters. For one participant, the HDL-C variable was Winsorized at the maximal value of 2.59 because the apparatus could not measure

higher values. Statistics were performed with IBM SPSS Statistics 20 (Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel 2007 (Redmond, WA, USA). All data are presented as means \pm SD. Cohen's effect size (d) was calculated for group comparisons, this index allowed afterwards the post hoc estimation of statistical power. Statistical significance was considered at $P \leq 0.05$.

4.5 Results

Descriptive data for the 105 participating male firefighters are presented in Table 4.1. Sixty-eight (68), 31 and 6 participants were regular firefighters, lieutenants/captains and officers respectively. Sixty-one (61) firefighters had a second occupation outside the fire department, and 56 firefighters generally worked at least one overtime hour per week in the fire department. Prevalence of BMI-obesity, WC-obesity, smoking, hypertension, dyslipidemia, physical inactivity and type 2 diabetes was respectively 21.9, 16.2, 3.8, 11.4, 11.4, 10.5 and 0%.

Table 4.1 Descriptive data of participants

Variable	Mean \pm SD	Median	Range
Age (years)	40 \pm 9	40	24 – 60
Height (cm)	176.2 \pm 6.4	176.5	159.1 – 191.3
BW (kg)	86.1 \pm 9.7	84.0	66.7 – 116.8
BMI (kg/m ²)	27.7 \pm 2.9	27.5	21.8 – 38.5
WC (cm)	92.8 \pm 8.4	90.4	76.1 – 115.8
SBP (mmHg)	119 \pm 11	119	98 – 150
DBP (mmHg)	76 \pm 8	76	56 – 97
HR (bpm)	66 \pm 9	66	47 – 89
TC (mmol/L)	5.14 \pm 0.88	5.17	3.35 – 7.19
HDL-C (mmol/L)	1.54 \pm 0.40	1.53	0.55 – 2.59

BW: body weight, BMI: body mass index, WC: waist circumference, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, HR: 5-min sitting resting heart rate, TC: total cholesterol, HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol. n=101 for SBP and DBP (participants on antihypertensive medication were excluded). n=102 for TC and HDL-C (participants on lipid-lowering medication were excluded).

Age was almost significantly different ($P=0.070$, $d=0.37$) between E (38.8 ± 8.5 years) and NoE (41.9 ± 8.6 years) firefighters. Table 4.2 shows comparisons of the physical activity level between E and NoE. The E group exercised on duty an average of 74 ± 56 min/week and 34 ± 42 min/week at moderate and high intensity respectively for a total of 115 ± 82 min/week. A significant difference ($P<0.001$) was observed for physical inactivity prevalence between E

(0%) and NoE (26.8%). However, no difference was observed between the proportion of firefighters that did not meet the WHO physical activity recommendations (E: 10.9%, NoE: 24.4%, $P=0.091$). A significantly ($P<0.001$) higher proportion of E (78.1%) had access to a training gym (resistance and aerobic training equipment) in their station compared with NoE (26.8%).

Table 4.2 Comparison between E and NoE regarding physical activity level.

Variable	Model	E	NoE	<i>P</i>	d
Off-duty PA at moderate intensity (min/week)	A	123 ± 144	147 ± 168	0.390	0.16
	B	123 ± 145	149 ± 172	0.366	0.17
Off-duty PA at high intensity (min/week)	A	90 ± 113	73 ± 97	0.353	0.16
	B	87 ± 110	77 ± 100	0.570	0.10
Off-duty PA total (min/week)	A	242 ± 226	263 ± 242	0.626	0.09
	B	239 ± 224	269 ± 249	0.496	0.13
Total PA at moderate intensity (min/week)	A	216 ± 197	151 ± 146	0.041	0.36
	B	214 ± 199	152 ± 152	0.056	0.34
Total PA at high intensity (min/week)	A	137 ± 143	78 ± 97	0.008	0.46
	B	133 ± 140	82 ± 100	0.022	0.40
Total PA (min/week)	A	385 ± 286	268 ± 219	0.016	0.45
	B	381 ± 288	274 ± 200	0.035	0.42

E: firefighters who physically train on duty in a fire station, NoE: firefighters who did not physically train on duty in a fire station, PA: physical activity. Model A: no adjustment, Model B: adjustment for age, occupational rank, whether they worked at least one hour in an occupation outside the fire department and whether they worked at least one additional hour at the fire department.

Table 4.3 compares cardiovascular health indicators between E and NoE. A significant difference ($P=0.026$) was observed for WC-obesity between E (9.4%) and NoE (26.8%). No significant difference was observed for prevalence of BMI-obesity (E: 20.3%, NoE: 24.4%, $P=0.710$), smoking (E: 3.1%, NoE: 4.9%, $P=0.844$), dyslipidemia (E: 9.4%, NoE: 14.6%, $P=0.503$) and hypertension (E: 7.8%, NoE: 17.1%, $P=0.194$) between the two groups. As for

CVD symptom prevalence in the last month (E: 21.9%, NoE: 26.8%, $P=0.643$) and the last year (E: 39.1%, NoE: 36.6%, $P=0.879$), no significant difference was observed here either. A percentage of 25.0 had at least one modifiable CVD risk factor in E firefighters in comparison to 36.6% in NoE firefighters ($P=0.246$).

Table 4.3 Comparison between E and NoE regarding cardiovascular health indicators.

Variables	Model	E	NoE	<i>P</i>	d
HR (bpm)	A	64.1 ± 8.9	67.3 ± 9.2	0.082	0.36
	B	64.3 ± 8.9	66.9 ± 9.2	0.162	0.29
BMI (kg/m ²)	A	27.0 ± 2.7	28.2 ± 2.9	0.031	0.43
	B	27.0 ± 2.6	28.1 ± 2.9	0.066	0.38
WC (cm)	A	90.1 ± 7.3	93.8 ± 8.6	0.018	0.48
	B	90.4 ± 7.1	93.2 ± 8.0	0.060	0.39
TC (mmol/L)	A	5.11 ± 0.87	5.25 ± 0.87	0.449	0.15
	B	5.14 ± 0.85	5.19 ± 0.88	0.836	0.04
HDL-C (mmol/L)	A	1.55 ± 0.39	1.53 ± 0.39	0.796	0.05
	B	1.55 ± 0.40	1.52 ± 0.41	0.678	0.09
TC/HDL-C	A	3.33 ± 1.07	3.46 ± 1.13	0.561	0.12
	B	3.35 ± 1.13	3.43 ± 1.19	0.724	0.07
SBP (mmHg)	A	116.9 ± 11.1	120.6 ± 11.4	0.117	0.32
	B	117.1 ± 10.8	120.2 ± 11.7	0.177	0.28
DBP (mmHg)	A	74.6 ± 8.2	77.1 ± 8.2	0.141	0.30
	B	74.9 ± 8.2	76.7 ± 8.3	0.284	0.22

E: firefighters who physically train on duty in a fire station, NoE: firefighters who did not physically train on duty in a fire station, HR: 5-min sitting resting heart rate, BW: body weight, BMI: body mass index, WC: waist circumference, TC: total cholesterol, HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure. n=101 for SBP and DBP (participants on antihypertensive medication were excluded). n=102 for TC, HDL-C and TC/HDL-C (participants on lipid-lowering medication were excluded).

Model A: no adjustment, Model B: adjustment for age, occupational rank, whether they worked at least one hour

in an occupation outside the fire department and whether they worked at least one additional hour at the fire department.

Red/processed meat (E: 5.6 ± 3.4 , NoE: 5.5 ± 3.5 servings/week, $P=0.942$, $d=0.03$), sweet drinks (E: 1.7 ± 3.6 , NoE: 1.3 ± 2.9 servings/week, $P=0.395$, $d=0.12$) and alcohol (E: 5.5 ± 4.9 , NoE: 5.0 ± 4.6 servings/week, $P=0.592$, $d=0.10$) consumption were not different between the two groups. However, vegetables/fruit consumption was significantly ($P=0.002$, $d=0.56$) different between E (4.6 ± 2.7 servings/day) and NoE (3.2 ± 2.1 servings/day) firefighters. Psychological stress was not different between the two groups (E: 29.0 ± 6.8 , NoE: 29.7 ± 6.7 , $P=0.612$, $d=0.10$).

After adjustment for age, smoking, psychological stress and vegetables/fruit, sweet drinks, red/processed meat, alcohol consumption, the total PA level was correlated with BMI ($r=-0.223$, $P=0.033$), WC ($r=-0.211$, $P=0.044$), DBP ($r=-0.283$, $P=0.006$), MAP ($r=-0.234$, $P=0.024$), HR_{rest} ($r=-0.295$, $P=0.004$) and HDL-C ($r=0.245$, $P=0.018$).

4.6 Discussion

Firefighters who physically train on duty were more physically active on a weekly basis, had a lower WC-obesity and physical inactivity prevalence than firefighters who do not physically train on duty. They also tended to be leaner and have less abdominal fat in average. This cross-sectional study points to an association between on-duty PA at the fire station and the cardiovascular health of firefighters.

The results also show that more E firefighters than NoE firefighters had access to a training gym at their fire station: equipment availability would seem to encourage firefighters to practice PA while on duty at the fire station. Allowing time for on-duty exercise and supplying equipment/facilities are indeed part of the WFI and researchers' recommendations [22]. Doing on-duty PA at the fire station allowed firefighters to cumulate a higher total PA level on a weekly basis. This echoes Poston et al. [12] who reported that, in departments with WFI, a higher proportion of firefighters practice PA regularly at the fire station and have a higher PA level

than firefighters in standard departments. As previously mentioned, increasing PA level on a weekly basis may improve cardiovascular health, a most desirable goal since respectively 70% and 62% of male and female firefighters do not meet the recommendations of the ACSM in terms of physical activity practice [2,3].

A higher PA level may have a beneficial effect on body composition and explain in part the significantly higher prevalence of WC-obesity in NoE firefighters as well as E firefighters' tendency to be leaner and have less abdominal fat in average. This is also supported by correlations of total PA level with WC and BMI. The prevalence of BMI-obesity was however not different between the two groups. Only BMI-obesity in firefighters has been associated with fatal on-duty coronary heart disease events after statistical adjustments for other CVD risk factors [23]. There are no studies verifying the relation between WC-obesity and fatal on-duty cardiac events in firefighters. It is likely that the risk of on-duty cardiac event may be lower among E firefighters as WC, the best anthropometric measure for estimating abdominal visceral adipose tissue accumulation [24], is an excellent independent predictor of myocardial infarction [25]. These researchers also reported that WC is a better predictor of myocardial infarction than BMI. Indeed, they demonstrated that, when adjusted for WC, the BMI is no longer a predictor of myocardial infarction. Our data suggest that E firefighters would be less likely to suffer from on-duty cardiac event.

Moreover, excess body fat may also impact firefighters' performance in many ways. When protective clothing is worn, body fat acts as an insulator and obstructs heat dissipation during exposure to hot environmental conditions, thus contributing to a greater rise in core temperature [26,27]. Body fat also acts as a dead weight during the performance of tasks that require lifting one's own body weight, like when climbing ladders and stairs [28], leading to an increased metabolic rate and correlative increase in heat storage. A greater metabolic rate and a rise in core temperature result in high cardiac/cardiovascular strain and consequently increase the risk of SCD.

No significant differences were observed between the groups in WC, BMI, HR_{rest} , DBP, MAP and HDL-C. This suggests that, while on-duty PA allows firefighters to practice more PA on a

weekly basis, it is not enough to significantly impact those variables. A greater difference in PA level would probably generate significant differences between the groups in WC, BMI, HR_{rest}, DBP, MAP and HDL-C since they were significantly correlated with PA level after statistical adjustments for age, smoking status, nutrition and psychological stress. Adjustments were performed considering that those covariates may also bear on the CVD risk [29].

The participants' physical characteristics in this study are fairly representative of full-time firefighters in Québec, as reported in Gendron et al. [2]: mean BMI after adjustment for age (27.64 ± 3.18 vs. 27.57 ± 3.18 kg/m², $P=0.830$) and BMI-obesity prevalence (21.9% vs. 22.8%, $P=0.897$), none being significantly different. Nevertheless, the study has some limitations. First, its cross-sectional design restricts our ability to make causal interpretations about the relationships between on-duty exercise and cardiovascular health outcomes. Also, the differences between E and NoE groups just missed significance for WC and BMI, possibly because of a lack of statistical power due to a small sample size. The post-hoc estimated statistical power for these variables was 0.49 and 0.47 respectively: it is likely that more participants could have increased significance. Based on the aforementioned power values, twice the number of participants (~220) would have rendered a power of approximately 0.80. Moreover, HR and BP measures may be inaccurate since participants were tested at different times of the day, some even as they just returned from an intervention. The unpredictability of calls made it difficult for participants to follow specific preliminary instructions.

In conclusion, firefighters who physically train while on duty at their fire station are also more physically active on a weekly basis and have a lower WC-obesity and physical inactivity prevalence than firefighters who do not train. They showed a tendency to be leaner and have less abdominal fat in average. All these results may potentially reduce the CVD risk and cardiovascular strain during an intervention and, consequently, the risk of on-duty SCD. However, on duty physical training at the fire station does not seem to be sufficient to reduce other variables such as blood pressure and cholesterol. Our findings suggest that fire services should still allow and promote physical training in the fire station for all firefighters and physical training in the fire station should be part of health promotion programs. This would have beneficial impacts on safety and health at work and improve firefighters' cardiovascular health

and general work efficacy. Ultimately, controlled experimental studies are needed to definitely assess the effectiveness of on-duty physical training at the fire station, and our findings support the need for such endeavour to confirm its benefits. Also, studies would be warranted for determining the optimal modalities for improving cardiovascular health in firefighters and for assessing the impact of fire department culture, teammates, fire station equipment, officers and chiefs on on-duty PA and life habits in general.

Conflicts of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

Philippe Gendron was supported by a doctoral research scholarship from the Fonds de recherche du Québec - Santé (FRQS). The authors also thank all municipal fire departments and unions that encouraged their employees/members to participate in the study. Finally, the authors are grateful to all the firefighters who participated in this study.

4.7 References

1. Smith DL, DeBlois JP, Kales SN, Horn GP. Cardiovascular strain of firefighting and the risk of sudden cardiac events. *Exerc Sport Sci Rev* 2016;44(3):90-97.
2. Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters. *J Occup Environ Med* 2018;60(6):e300-e306.
3. Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Cardiovascular disease risk in female firefighters. *Occup Med* 2018;68(6):412-414.
4. Smith, D. L., D. A. Barr, and S. N. Kales. 2013. "Extreme sacrifice: sudden cardiac death in the US Fire Service." *Extreme Physiology & Medicine* 2 (1); 6.

5. Soteriades ES, Smith DL, Tsismenakis AJ, Baur DM, Kales SN. Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. *Cardiol Rev* 2011;19(4):202-215.
6. Fahy RF, LeBlanc PR, Molis JL. US Firefighters Fatalities in the United States-2017. National Fire Protection Association (NFPA); 2018.
7. Wolkow A, Netto K, Aisbett B. The effectiveness of health interventions in cardiovascular risk reduction among emergency service personnel. *Int Arch Occup Environ Health* 2013;86(3):245-260.
8. Elliot DL, Goldberg L, Kuehl KS, Moe EL, Breger RKR, Pickering MA. The PHLAME (Promoting healthy lifestyles: alternative models' effects) firefighter study: Outcomes of two models of behavior change. *J Occup Environ Med* 2007;49:204–213.
9. MacKinnon DP, Elliot DL, Thoemmes F, Kuehl KS, Moe EL, Goldberg L, Burrell GL, Ranby KW. Long-term effects of a worksite health promotion program for firefighters. *Am J Health Behav* 2010;34(6):695-706.
10. Rachele JN, Heesch KC, Washington TL. Wellness programs at firefighter and police workplaces: a systematic review. *Health Behav Policy Rev* 2014;1(4):302-313.
11. The fire service joint labor management wellness-fitness initiative. Washington (DC): International Association of Fire Fighters (IAFF) and International Association of Fire Chiefs (IAFC); 2008.
12. Poston WS, Haddock CK, Jahnke SA, Jitnarin N, Day RS. An examination of the benefits of health promotion programs for the national fire service. *BMC Public Health* 2013;13(1):805.
13. Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(5):754.

14. Horaire de travail (Work schedule) [Internet]. Montréal, QC: Syndicat des pompiers et pompières du Québec (SPQ) (Union of Québec Firefighters). 2017. Available from: <http://www.spq-ftq.com/horaire.php>
15. Physical Activity Training for Health (PATH) Resource Manual. Ottawa (ON): Canadian Society for Exercise Physiology (CSEP); 2013.
16. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Tenth edition. Philadelphia (PA): Lippincott Williams and Wilkins; 2018.
17. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs JD, Montoye HJ, Sallis JF, Paffenbarger JF. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(1):71-80.
18. Global recommendations on physical activity for health. World Health Organization; 2010.
19. Cohen S, Kamarck T, Mermelstein R. A global measure of perceived stress. *J Health Soc Behav* 1983;385-396.
20. Eating well with Canada's food guide. Ottawa, ON: Health Canada; 2007. Available from: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/canada-food-guide/about/history-food-guide/eating-well-with-canada-food-guide-2007.html>
21. Les niveaux de consommation recommandés (Recommended consumption levels). Montréal, QC: Éduc'alcool; 2018. Available from : <http://educalcool.qc.ca/alcool-et-vous/sante/les-niveaux-de-consommation-dalcool-a-faible-risque/#.W5fIDc5KjIU>
22. Kales SN, Smith DL. Sudden cardiac death in the fire service. *Occup Med* 2014;64:228-232.

23. Yang J, Teehan D, Farioli A, Baur DM, Smith D, Kales SN. Sudden cardiac death among firefighters ≤ 45 years of age in the United States. *Am J Cardiol* 2013;112(12):1962-1967.
24. Pouliot MC, Després JP, Lemieux S, Moorjani S, Bouchard C, Tremblay A, Nadeau A, Lupien PJ. Waist circumference and abdominal sagittal diameter: best simple anthropometric indexes of abdominal visceral adipose tissue accumulation and related cardiovascular risk in men and women. *Am J Cardiol* 1994;73(7):460-468.
25. Dagenais GR, Yi Q, Mann JF, Bosch J, Pogue J, Yusuf S & Heart Outcomes Prevention Evaluation (HOPE) study investigators. Prognostic impact of body weight and abdominal obesity in women and men with cardiovascular disease. *Am Heart J* 2005;149(1):54-60.
26. McLellan TM. Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *Eur J Appl Physiol* 1998;78:28-37.
27. Selkirk GA, McLellan TM. Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 2001;91:2055-2063.
28. Williford HN, Duey WJ, Olson MS, Howard R, Wang N. Relationship between firefighting suppression tasks and physical fitness. *Ergonomics* 1999;42(9):1179-1186.
29. Mann DL, Zipes DP, Libby P, Bonow RO. Braunwald's heart disease: A textbook of cardiovascular medicine. Tenth edition. Philadelphia (PA): Elsevier Health Sciences; 2014.

Chapitre 5. Article 4 – Shortened recovery period between firefighting work bouts increases cardiac response disproportionately with metabolic rate

Ce chapitre inclut le quatrième article de cette thèse qui a été publié dans la revue « Journal of Occupational and Environmental Medicine » en 2019.

Gendron, P.^{1,2}, Trudeau, F.¹, Laurencelle, L.¹, Goulet, É. D.³, Houle, J.⁴, & Lajoie, C.¹ (2019). Shortened recovery period between firefighting work bouts increases cardiac response disproportionately with metabolic rate. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 61(5), e217-e225.

Affiliations des auteurs :

[1] Département des sciences de l'activité physique, Université du Québec à Trois-Rivières

[2] Département d'anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières

[3] Faculté des sciences de l'activité physique, Université de Sherbrooke

[4] Département des sciences infirmières, Université du Québec à Trois-Rivières

Running title

Shortened recovery period during firefighting

Contribution des auteurs

Philippe Gendron	Recension des écrits et idée de recherche Élaboration de la méthodologie Recherche et collecte des données Analyses statistiques et interprétation des résultats Rédaction et soumission de l'article
François Trudeau	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
Louis Laurencelle	Analyses statistiques Révision critique de l'article
Éric Goulet	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article
Julie Houle	Élaboration de la méthodologie
Claude Lajoie	Élaboration de la méthodologie Révision critique de l'article

5.1 Résumé

Objectif : Comparer les réponses physiologiques entre deux simulations d'intervention de lutte contre un incendie constituées de deux phases de travail identiques intercalées de différentes périodes de repos, l'une ayant les phases de travail intercalées par une période de repos écourtée.

Méthodologie : Treize (13) pompiers ont participé à deux simulations différentes comprenant deux phases de travail identiques (E_1 et E_2) de 25 minutes chacune, intercalées par une période de récupération soit de 5 (T5) ou de 20 (T20) minutes.

Résultats : De E_1 à E_2 , l'augmentation de la fréquence cardiaque (FC) moyenne (26 ± 5 vs 14 ± 5 bpm, $P < 0,001$) et de la consommation d'oxygène (VO_2) moyenne ($1,8 \pm 0,4$ vs. $1,3 \pm 0,4$ mL·kg⁻¹·min⁻¹, $P < 0,001$) était plus élevée lors de T5 que lors de T20.

Conclusion : Les résultats indiquent qu'une réduction du temps de repos entre des phases de travail représentant les tâches du métier de pompier intensifie de manière disproportionnée la contrainte cardiaque avec le taux métabolique, puisque la FC moyenne a augmenté de 19,3 et 10,8%, tandis que le VO_2 moyen n'a augmenté que de 7,2 et 5,0% respectivement pour T5 et T20.

Mots-clés : pompier, récupération, fréquence cardiaque, consommation d'oxygène, température corporelle

5.2 Abstract

Objective: To compare physiological responses between two firefighting simulations with different recovery periods, one having work bouts intercalated by a shortened recovery period.

Methods: Thirteen male firefighters participated in two different simulations, which comprised two identical 25-minute effort bouts (E_1 and E_2) intercalated by a recovery period of either 20 (T20) or 5 (T5) minutes.

Results: From E_1 to E_2 , the increase of mean HR (26 ± 5 vs. 14 ± 5 bpm, $P < 0.001$) and mean VO_2 (1.8 ± 0.4 vs. 1.3 ± 0.4 mL·kg⁻¹·min⁻¹, $P < 0.001$) was higher in T5 than in T20.

Conclusion: Results indicate that a shortened recovery time between firefighting work bouts intensifies cardiac strain disproportionately with metabolic rate, since mean HR increased by 19.3 and 10.8% while mean VO_2 increased by only 7.2 and 5.0% in T5 and T20 respectively.

Keywords: firefighter, rehabilitation, heart rate, oxygen consumption, body temperature

5.3 Introduction

Many factors related to firefighting in emergency conditions such as physical work, heat stress, dehydration, personal protective equipment, psychological stress and smoke exposure result in high levels of strain leading to vascular, cardiac and hemostatic responses (1,2). Smith et al. [3] and Horn et al. [4] observed that a near-maximal heart rate (HR) may be attained and sustained during fire suppression, which may trigger cardiovascular events, particularly in those with underlying cardiovascular disease (CVD) (2). According to Smith et al. [2], the rupture of a vulnerable plaque resulting in thrombus formation and the occlusion of coronary arteries may be caused by elevated shear stress. Also, an imbalance between myocardial oxygen demand and supply may result in electrical, mechanical and biochemical dysfunction of the cardiac muscle. Limiting the high cardiovascular strain of firefighting interventions is a priority for health and safety at work, since sudden cardiac death is the leading cause of on-duty mortality in firefighters, scoring 42% of cases over the past 10 years in the United States (5).

During firefighting interventions, high cardiovascular strain could be reduced by an adequate recovery period before returning to work. The National Fire Protection Association (NFPA) (6) recommends that firefighters take a minimum 10-minute recovery period following depletion of a first conventional 45-minute air cylinder and a minimum 20-minute recovery period following depletion of a second conventional 45-minute air cylinder. However, after using a conventional 45-minute air cylinder, for various reasons including limited manpower, firefighters commonly take only a very short recovery period to change their self-contained breathing apparatus (SCBA) air cylinder, sip some water and return to the fire. Interestingly, Walker et al. [7] observed a significant increase in thermal and cardiac strain in a second 20-minute work period when firefighters took a 10-minute passive recovery period after a first 20-minute work period at $19.3 \pm 2.7^{\circ}\text{C}$. During this time, they removed their SCBA, jacket, gloves and helmet and consumed 600 mL of water (ambient temperature). Colburn et al. [8] also showed that 30 minutes of passive recovery at $22.2 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$ with the SCBA, helmet, gloves, jacket and hood removed and an intake of 500 mL of water (ambient temperature) is not sufficient for HR and core temperature to return to their baseline value after a single 20-minute work bout of firefighting. It is likely that a very short recovery period not in keeping with NFPA

recommendations (6) may substantially increase cardiovascular strain and, consequently, the risk of cardiac events.

This study aimed to compare physiological responses during effort and recovery periods between two firefighting simulations with differing recovery periods, one simulation following NFPA recommendations, the other not.

5.4 Methods

5.4.1 Participants

Thirteen male firefighters took part in this study. They completed a physical activity readiness questionnaire (PAR-Q+) that helped to identify the risk factor(s) of any health problem related to physical activity practice. Firefighters found to be at moderate or high risk of cardiovascular, pulmonary or metabolic disease based on the criteria of the American College of Sports Medicine (ACSM) were excluded from the study (9). Consistent with these criteria, participants older than 44 years are automatically categorized at moderate CVD risk. Before presenting at the laboratory, they were asked to refrain from all physical activity for 24 hours prior to each test. They were also asked to avoid tobacco, caffeine and all food except water for at least 2 hours prior to the tests, and to avoid alcohol or drugs for at least 24 hours prior to the tests. No pre-testing hydration protocol was implemented; participants were deliberately left to themselves as in the fire station. Ethical approval for the study was obtained from the institutional ethics committee and informed consent was obtained from all participants.

5.4.2 Overview of the experimental design

Each participant completed three laboratory visits on three different days. On the first visit, preliminary measurements were taken and a maximal graded walking test (GWT) was completed. The two firefighting simulations, which were conducted in a counterbalanced fashion, were performed during the last two visits. They were administered at about the same time of day to control for the possible effects of circadian rhythms; in three cases, however, this

was not possible due to scheduling conflicts. Resting heart rate (HR) and aural temperature (AT) were measured after a 10-minute sitting rest period before both firefighting simulations. Participants completed the GWT and firefighting simulations while wearing personal protective equipment (PPE) and SCBA and breathing through a metabolic system. The three visits were separated by a minimum of 72 hours and conducted in a laboratory setting with ambient temperature at $22.2 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ and relative humidity at $24.0 \pm 1.8\%$.

5.4.3 Maximal graded walking test (GWT)

Maximal oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{max}}$), maximal heart rate (HR_{max}) and maximal pulmonary ventilation (V_{Emax}) were measured during the GWT on a treadmill (Model 643, Quinton Instruments, Seattle, WA). Walking speed (4.8 km/h) was the same during the entire test. Grade was increased by 2% each 2 minutes up to exhaustion; the first 2-minute stage of the test was at 0%. $\text{VO}_{2\text{max}}$ criteria were (a) attainment of age-predicted HR, (b) a respiratory gas exchange ratio (RER) greater than 1.1 and (c) a blood lactate concentration higher than 8 mmol/L (10).

5.4.4 Firefighting simulations

Firefighting simulations comprised two identical 25-minute effort bouts (E_1 and E_2) consisting of exercises simulating firefighting tasks: these were intercalated by a passive recovery period of either 20 minutes (T_{20}) or 5 minutes (T_5). The 20-minute passive recovery period meets the minimum requirement of 10 minutes following depletion of a first conventional 45-minute air cylinder and the 5-minute passive recovery period represents well the reality commonly observed following depletion of a first conventional 45-minute air cylinder. We also chose those durations because they are different of several minutes.

E_1 and E_2 were performed on a treadmill and simulated the variety and workload demands of firefighting. To our knowledge, this is the first study to use an intermittent treadmill protocol for simulating firefighting activities. Tasks were akin to the fire fit test work simulation described by Deakin et al. [11] and Rogers et al. [12]. During the 20-minute recovery periods, participants removed their SCBA, jacket, gloves and hood and sat on a chair. During the 5-

minute recovery period, they sat on the edge of the 40-centimeter high treadmill with their feet on the floor. For this recovery period, participants removed their gloves and hood and were free to remove/unbuckle their SCBA and jacket. As in real settings with SCBA, participants had no access to water during effort bouts because they breathed into the gas analyzer with a mask, but consumed ambient temperature water *ad libitum* during recovery periods between the two effort bouts and during the 20-minute recovery period after E₂.

During E₁ and E₂, oxygen consumption (VO₂), pulmonary ventilation (V_E), breathing frequency (*f*), tidal volume (V_T) and deoxygenated hemoglobin-myoglobin (Δ [HHb]) were continuously measured and averaged at 30-second intervals. Heart rate was continuously measured during E₁, E₂ and recovery periods and averaged at 30 second intervals, except for the first 1-minute period at the onset of the last 20-minute recovery period where it was averaged at 5-second intervals. AT was measured at the end of E₁ and E₂ and at every 5 minutes during the 20-minute recovery period after E₂. Blood lactate concentration ([La⁺]) was measured at the end of E₁ and E₂. Thermal sensation was also measured every 5 minutes during E₁ and E₂. Urine specific gravity (USG) was measured before the beginning of T5 and T20 and after the final 20-minute recovery period of T5 and T20.

This protocol was used to create a controlled laboratory environment to the extent possible by requiring the same work to be done during all effort bouts. These bouts included 7 different tasks executed successively, each separated by a period of walking. Typically, structural firefighting work consists of 20 to 40-minute bouts of 1 to 4-minute work-rest cycles with the following sequence of tasks (3,4).

1. *Hose-carrying*: While walking at 4.8 km/h on a 1% grade, participants carried a bucket equivalent to a section of rolled 65-mm hose weighing 16.5 kg in the right hand for 30 seconds and in the left hand for another 30 seconds. They then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 60 seconds.
2. *Ladder-carrying*: While walking at 4.8 km/h on a 1% grade, participants carried a 6-foot-long weighted bar (13.6 kg) in the right hand for 60 seconds to simulate ladder carrying. They then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 60 seconds.

3. *Ladder/staircase-climbing 1*: Participants walked at 4.8 km/h on a 12% grade for 60 seconds to represent a ladder/staircase climb. They then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 60 seconds.

4. *High-volume hose-pulling*: While standing in a stationary position on the stopped treadmill, participants pulled on a rope attached to a bundle of hoses (a 30.48-m length of 100-mm hose and a 15.24-m length of 65-mm hose) for a distance of 6 m, with a hand-over-hand movement. They did this 5 times for a total distance of 30 m in 90 seconds. The experimenter replaced the bundle of hoses in approximately 6 seconds between each pull. Participants then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 60 seconds.

5. *Forcible entry*: While standing on the stopped treadmill, participants struck sideways with a 4.5 kg steel-head sledge hammer fixed with a heavy-resistance TRX[®] elastic on the wall behind the treadmill at a height of 76.2 cm from the top of the treadmill. They had to strike 20 times with a constant rhythm for a period of 30 seconds. The elastic was stretched to an approximately 2-m length for each strike. They then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 60 seconds.

6. *Ladder/staircase-climbing 2*: Idem for ladder/staircase-climbing 1.

7. *Equipment carrying*: While walking at 4.8 km/h on a 1% grade, participants carried a weighted bar (36.4 kg) for 60 seconds with both hands. They then walked at 4.8 km/h on a 1% grade for 180 seconds.

5.4.5 Anthropometric measurements

Waist circumference (WC) was measured based on the 2013 guidelines of the Canadian Society for Exercise Physiology (CSEP) (13). Body weight (BW) was measured with a Tanita weight scale (Body Composition Analyzer BF-350, Japan) and percentage of body fat (BF) (Harpender skinfold caliper) was estimated with a three-site (chest, triceps and subscapular) formula (9).

Height was also measured. BMI, defined as weight divided by the square of height (kg/m^2), was calculated.

5.4.6 Heart rate

HR was measured with each participant wearing a RS800CX Polar® chest belt (Kempele, Finland). Data were analyzed by Polar ProTrainer 5 software.

In the 20-minute recovery period after E₂ of T5 and T20, the HR recovery (HRR) was measured in absolute values and transformed in relative values. For individual differences in baseline HR (HR_{rest}) and peak HR during E₂ (HR_{peak}), a coefficient of relative HRR (CHRR) (14) was used to normalize HRR which, expressed in percent terms, shows how much the HR recovered at each minute after E₂ towards the expected total recovery (HR_{peak} – HR_{rest}). This coefficient is the relation of the absolute values of HRR at each minute post-E₂ by the total HR increment from the HR_{rest} to the HR_{peak}, being represented by the following formula: $\text{CHRR} = \text{HRR}_{(n\text{-th minute})} / (\text{HR}_{\text{peak}} - \text{HR}_{\text{rest}}) \times 100$.

5.4.7 Gas exchange

Gas exchange (VO₂, \dot{V} and V_T) was measured with a gas analyzer (Moxus, AEI Technologies, Pittsburgh, PA). Each participant wore a Hans Rudolph 2700 series body style saliva trap 2-way NRBV mask (Hans Rudolph, Kansas City, MO, USA) and a head support for Rudolph series 2726 valves. The device was calibrated before each test according to the manufacturer's instructions with 4 different gases of known concentrations. Flow volume was calibrated with a 3.00-L Hans Rudolph 5530 series calibration syringe.

5.4.8 Near infrared spectroscopy

Skeletal muscle oxygenation was measured using near-infrared spectroscopy (NIRS) (Portamon, Artinis Medical Systems BV, Utrecht, Netherlands). Deoxyhemoglobin-myoglobin ($\Delta[\text{HHb}]$) was used to measure oxygen extraction. This variable was measured in the *vastus*

lateralis muscle of the right limb, since the lower limbs are heavily involved during all firefighting tasks in T5 and T20. $\Delta[\text{HHb}]$ was “zeroed” during resting baseline and reported as relative differences in concentration during exercise. Baseline measurements were recorded while participants lay supine on the floor with their legs extended in a relaxed position. A setting time of 120 seconds was allowed on each test for signal stabilization before a baseline of 5 minutes was recorded. To record the NIRS signal, the probe was placed over the right *vastus lateralis* muscle, approximately 10-12 cm from the knee joint, along the vertical axis of the thigh (15). The thigh, with attached optodes and covering, was wrapped with elastic bandage to minimize optode movement while still allowing freedom of walking movements. Black cloths were wrapped around the probe and the skin to prevent contamination by ambient light. The device was placed in a clear plastic bag to prevent distortion of the signal caused by sweating during exercise. The skin was carefully shaven beforehand. NIRS signals were collected at rest and during exercise at a sampling frequency of 10 Hz.

5.4.9 Oxygen pulse

Oxygen pulse (O_2pulse) was calculated as the ratio between VO_2 and HR. According to Bhambhani et al. [16], O_2pulse is correlated with stroke volume (SV) during submaximal exercise. Thus, we estimated SV using the formula developed by those authors for untrained men: $\text{SV} = \text{O}_2\text{pulse} \times 6.81 + 26.7$. Cardiac output (CO) was also estimated by multiplying HR with estimated SV.

5.4.10 Aural temperature

AT was measured in the left ear using a tympanic ear thermometer (Thermoscan 6014, Braun – Welch Allyn, Kronberg, Germany) according to the instruction manual. Measure of auditory canal temperature was taken to estimate and compare the accumulation of body heat occurring between T5 and T20. We didn’t interpret those temperature measurements as core body temperature since this method cause an unreliable absolute and variation measure of core body temperature before, during and after exercise in hyperthermic individuals in a laboratory setting

(17). AT was “zeroed” during the sitting rest period and reported as relative differences during exercise and recovery.

AT recovery (ATR) after E₂ was normalized with the same formula used for HRR (14), creating a coefficient (CATR) for individual differences in baseline AT (AT_{baseline}) and peak AT during E₂ (AT_{peak}).

5.4.11 Thermal sensation

Participants were asked to rate their thermal sensation using an 8-point scale (0: unbearably cold; 4: comfortable; 8: unbearably hot) (18).

5.4.12 Sweat and percent body weight losses

Sweat loss was estimated using the change in BW from the pre- to post-test (T5 or T20), corrected for the weight of the fluid intakes and urine losses during exercise. No correction was made for insensible water loss and the loss of mass associated with the respiratory exchange, and all were assumed to be similar between T5 and T20. Sweat loss was calculated using the following formula:

$$\text{Sweat loss} = \text{Pre-experiment BW (post-void)} - \text{post-experiment BW (post-void)} + \text{water intake} - \text{urines losses}$$

Percent BW loss was calculated using the following formula:

$$\% \text{BW loss} = \frac{\text{Pre-experiment BW (post-void)} - \text{post-experiment BW (post-void)}}{\text{Pre-experiment BW (post-void)}} \times 100$$

5.4.13 Urine specific gravity

Urine specific gravity (USG) was determined with a hand-held refractometer (PAL-10S, Atago, USA).

5.4.14 Blood lactate concentration

[La⁺] was measured using a lactate analyzer (Lactate Pro LT-1710, Arkray Inc., Kyoto, Japan).

5.4.15 Personal protective equipment (PPE)

During each test, participants wore firefighting bunker gear (Honeywell, Morristown, NJ), leather (STC Marshall 22014, STC, Montréal, QC) or rubber firefighting boots (Acton FirePro, Ville de Québec, QC), work gloves (DragonFire, Chesterfield, VA) and a hood (PGI Inc., Green Lake, WI). They brought their own bunker, boots, gloves and hood and used the same for all three tests. In addition, they wore a SCBA (MSA Firehawk G1, MSA, Cranberry, PA) and an air cylinder (MSA Firehawk G1 4,500 psi), but breathed into the gas analyzer with a mask, which made it impossible to wear the helmet. On this SCBA, the low air pressure warning device sounds when the air pressure in the cylinder reaches 1575 psi, that is, at 35% of the maximal pressure of 4500 psi. Firefighters chose their clothing under the PPE and used the same for all three tests. Mean total mass of the PPE and clothes was 23.1 ± 0.7 kg.

5.4.16 Statistical analysis

Two factor ANOVAs with repeated measures on both factors were used to assess the global difference between T5 and T20 of the change from E₁ to E₂ in mean HR, mean VO₂, mean V_E, mean f , mean V_T, mean V_E/VO₂, mean thermal sensation, mean O₂pulse, mean estimated SV, mean estimated CO, mean Δ [HHb] and mean Δ [HHb]/VO₂. Mean value is the global average of all measures in E₁ or E₂ for each variable. Two factor ANOVAs with repeated measures on both factors were also used to assess the global difference in HR, HRR, CHRR, AT, ATR and CATR between T5 and T20 during the 20-min recovery period after E₂. Paired *t*-tests were performed to assess the difference between T5 and T20 of the change from E₁ to E₂ in peak HR, peak VO₂, peak V_E and peak thermal sensation. Peak value is the highest 30-second average observed for each variable (except for thermal sensation that is the highest score reported on the 8-point scale) in E₁ or E₂. Paired *t*-tests were also performed to appraise the interaction of the E₂-E₁ difference of AT and [La⁺] with the T5 and T20 conditions; they also served to assess the

difference between T5 and T20 of sweat loss, water intake, Δ USG and BW loss. ANOVAs and paired *t*-tests were used when variables were normally distributed or transformed/normalized, while combinatorial (Monte Carlo) procedures were applied in cases where normalization could not be reached (19). Customized programs (e.g., Monte Carlo implementation of the ANOVA and paired *t*-test) were developed by Dr. Louis Laurencelle. Pearson correlations were calculated for specific parameters. Graphics were created with Sigma Plot 10.0 (San Jose, CA, USA). Statistics were analyzed with IBM SPSS Statistics 20 (Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel 2007. All data are presented as means \pm SD (standard deviation) except in figures, where data are presented as means \pm SEM (standard error of the mean). Statistical significance was considered at $P \leq 0.05$.

5.5 Results

All participants completed the entire study protocol. Table 5.1 reports descriptive physiological and anthropometric measurements of the 13 study participants. They were 22 to 44 years old and $\text{VO}_{2\text{max}}$ ranged from 34.9 to 56.6 $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, with three participants unable to reach the NFPA recommended minimum of 42 $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (20).

Table 5.1 Descriptive data of participants

Variable	Mean \pm SD	Median	Range
Age (years)	30 \pm 7	28	22 – 44
BMI (kg/m ²)	27.4 \pm 2.8	26.6	24.4 – 35.3
WC (cm)	88.8 \pm 9.9	87.5	77.9 – 115.7
BF (%)	14.0 \pm 5.6	13.0	7.6 – 28.0
VO _{2max} (mLO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	48.8 \pm 6.8	51.7	34.9 – 56.6

BMI: body mass index, WC: waist circumference, BF: body fat, VO_{2max}: maximal oxygen consumption.

Participants were at the same hydration state before T5 and T20 since pre-USG (T5: 1.015 \pm 0.008 g/mL, T20: 1.016 \pm 0.010 g/mL, $P = 0.396$), HR_{rest} (T5: 69 \pm 14 bpm, T20: 68 \pm 11 bpm, $P = 0.895$) and pre-test BW (T5: 84.6 \pm 10.0 kg, T20: 84.7 \pm 9.9 kg, $P = 0.667$) were practically the same.

Figure 5.1 shows HR, %HR_{max}, VO₂ and %VO_{2max} during E₁ and E₂ for T5 and T20. Mean and peak values during E₁ were 131 and 163 bpm for HR, 69.1 and 86.2 for %HR_{max}, 23.4 and 36.3 mL O₂·kg⁻¹·min⁻¹ for VO₂ and 48.5 and 74.9 for %VO_{2max} when T5 and T20 were averaged. In E₂, mean HR in %HR_{max} was 86.3 and 79.4 while peak HR in %HR_{max} was 97.6 and 93.3 for T5 and T20 respectively. Five firefighters out of thirteen in T5 and one in T20 reached a higher HR in E₂ than their HR_{max} measured during the GWT. Mean VO₂ in %VO_{2max} was 52.0 and 51.5 while peak VO₂ in %VO_{2max} was 77.7 and 78.5 for T5 and T20 respectively.

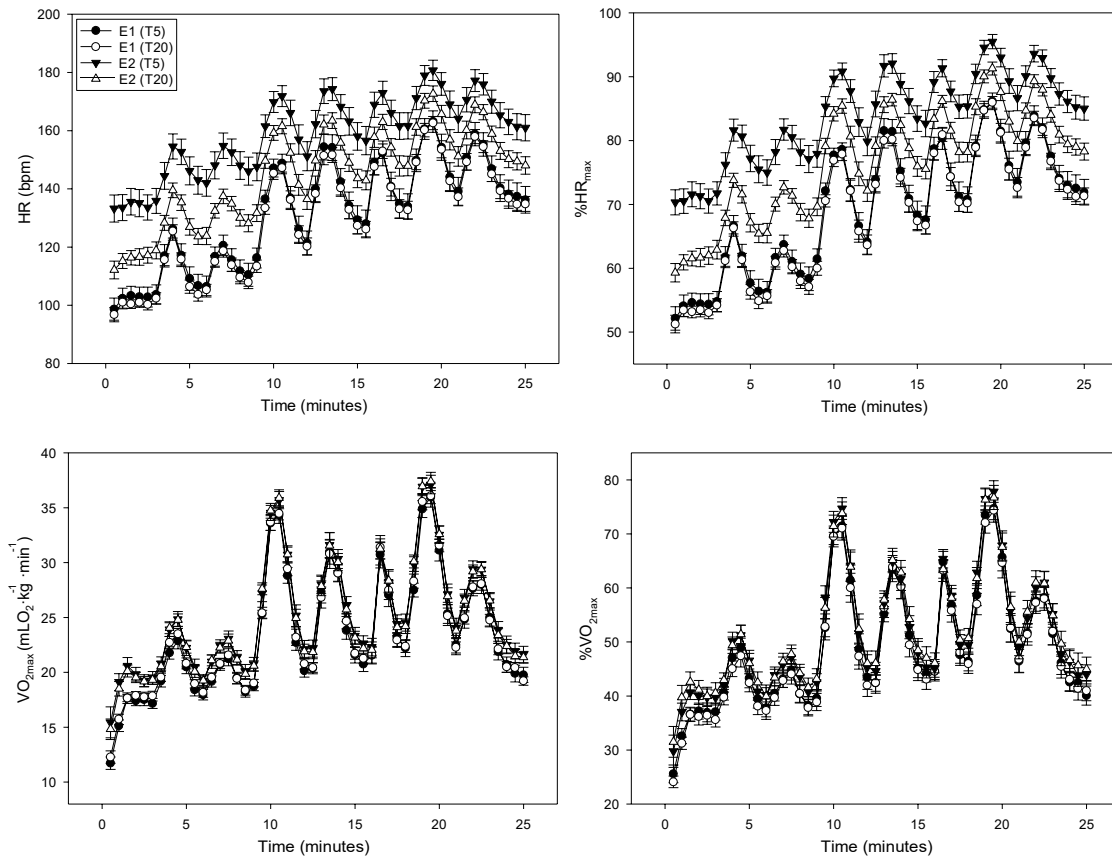


Figure 5.1 Heart rate (HR), percentage of maximal heart rate (%HR_{max}), oxygen consumption (VO₂) and percentage of maximal oxygen consumption (%VO_{2max}) of each 30-second interval during E₁ and E₂ of T5 and T20. They were characterized by fluctuations where the high points corresponded to simulated firefighting tasks and the low points to rest periods (walking) between tasks.

Values are means \pm SEM.

Figure 5.2 shows that mean HR increase from E_1 to E_2 was higher ($P \leq 0.001$) in T5 ($E_1 = 134 \pm 14$, $E_2 = 160 \pm 15$, $\Delta = 26 \pm 5$ bpm) than in T20 ($E_1 = 133 \pm 8$, $E_2 = 147 \pm 10$, $\Delta = 14 \pm 5$ bpm). Peak HR increase from E_1 to E_2 was also higher ($P \leq 0.001$) in T5 ($E_1 = 163 \pm 13$, $E_2 = 181 \pm 13$, $\Delta = 18 \pm 4$ bpm) than in T20 ($E_1 = 163 \pm 8$, $E_2 = 173 \pm 10$, $\Delta = 10 \pm 4$ bpm).

In Figure 5.2, mean VO_2 increase from E_1 to E_2 is higher ($P \leq 0.001$) in T5 ($E_1 = 23.4 \pm 2.1$, $E_2 = 25.2 \pm 2.3$, $\Delta = 1.8 \pm 0.4$ $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) than in T20 ($E_1 = 23.6 \pm 1.5$, $E_2 = 24.9 \pm 1.5$, $\Delta = 1.3 \pm 0.4$ $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). However, peak VO_2 increase from E_1 to E_2 does not differ between T5 ($E_1 = 36.2 \pm 3.1$, $E_2 = 37.6 \pm 3.0$, $\Delta = 1.3 \pm 1.5$ $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) and T20 ($E_1 = 36.6 \pm 2.7$, $E_2 = 38.0 \pm 3.1$, $\Delta = 1.4 \pm 1.2$ $\text{mLO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

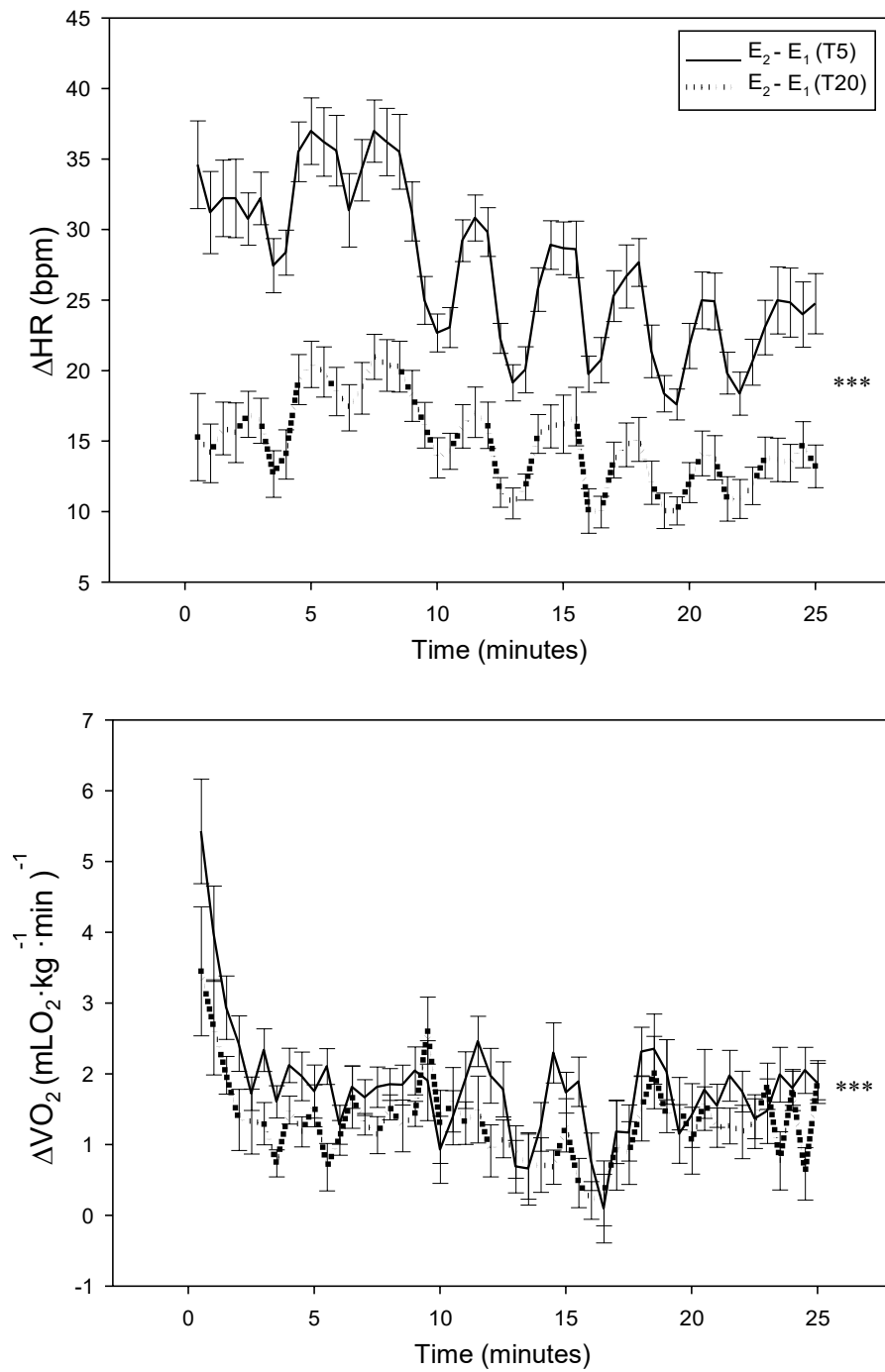


Figure 5.2 Delta of each 30-second interval ($E_2 - E_1$) of T5 and T20 for heart rate (HR) and oxygen consumption (VO_2).

***: Global T5 and T20 means are different at $P \leq 0.001$.

Values are means \pm SEM.

AT increase from E₁ to E₂ was higher ($P \leq 0.01$) in T5 (E₁ = 37.7 ± 0.5 , E₂ = 38.9 ± 0.6 , $\Delta = 1.1 \pm 0.3^\circ\text{C}$) than in T20 (E₁ = 37.9 ± 0.3 , E₂ = 38.4 ± 0.4 , $\Delta = 0.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$), the same pattern occurring for mean thermal sensation (T5: E₁ = 5.3 ± 0.3 , E₂ = 6.2 ± 0.5 , $\Delta = 0.9 \pm 0.3$, T20: E₁ = 5.3 ± 0.3 , E₂ = 5.7 ± 0.5 , $\Delta = 0.3 \pm 0.4$, $P \leq 0.001$) and peak thermal sensation (T5: E₁ = 6.4 ± 0.5 , E₂ = 7.1 ± 0.7 , $\Delta = 0.7 \pm 0.4$, T20: E₁ = 6.5 ± 0.4 , E₂ = 6.7 ± 0.7 , $\Delta = 0.2 \pm 0.5$, $P \leq 0.01$).

Mean O₂pulse decreased significantly ($P \leq 0.001$) more from E₁ to E₂ in T5 (E₁ = 14.6 ± 1.5 , E₂ = 13.2 ± 1.2 , $\Delta = -1.4 \pm 0.6$ mL O₂/bt) than in T20 (E₁ = 14.9 ± 1.3 , E₂ = 14.2 ± 1.2 , $\Delta = -0.7 \pm 0.4$ mL O₂/bt), and the same for mean estimated SV (T5: E₁ = 126 ± 10 , E₂ = 117 ± 8 , $\Delta = -10 \pm 4$ mL/bt, T20: E₁ = 128 ± 9 , E₂ = 124 ± 8 , $\Delta = -5 \pm 3$ mL/bt, $P \leq 0.001$). Mean estimated CO increased significantly ($P \leq 0.001$) more in T5 (E₁ = $16,845 \pm 1,171$, E₂ = $18,569 \pm 1,187$, $\Delta = 1,723 \pm 0,263$ L/min) than in T20 (E₁ = $16,966 \pm 0,914$, E₂ = $18,103 \pm 1,022$, $\Delta = 1,137 \pm 0,276$ L/min).

Sweat loss was higher ($P \leq 0.05$) in T5 (1462 ± 236 mL) than in T20 (1313 ± 269 mL). %BW loss was not significantly different between T5 (0.44 ± 0.39) and T20 (0.36 ± 0.53), but the post-experimentation BW was different from the pre-experimentation BW in T5 (pre: 83.0 ± 9.5 kg, post: 82.6 ± 9.5 kg, $P \leq 0.01$) and in T20 (pre: 83.2 ± 9.4 kg, post: 83.1 ± 9.4 kg, $P \leq 0.05$). Water intake between E₁ and E₂ was lower ($P \leq 0.01$) during the 5-minute recovery period of T5 (497 mL) than during the 20-minute recovery period of T20 (654 mL). Water intake during the 20-minute post-effort recovery period was not significantly different between T5 (729 mL) and T20 (684 mL). Total water intake was not different between T5 (1227 ± 353 mL) and T20 (1337 ± 355 mL). The increase of USG was not significantly different between T5 (E₁: 1.015 ± 0.008 , E₂: 1.019 ± 0.006 , Δ : 0.004 ± 0.007 g/mL) and T20 (E₁: 1.016 ± 0.010 , E₂: 1.020 ± 0.009 , Δ : 0.004 ± 0.005 g/mL).

Mean V_E increase from E₁ to E₂ was higher ($P \leq 0.001$) in T5 (E₁ = 52.5 ± 3.9 , E₂ = 61.1 ± 4.5 , $\Delta = 8.5 \pm 1.8$ L/min) than in T20 (E₁ = 53.1 ± 3.1 , E₂ = 57.4 ± 3.7 , $\Delta = 4.2 \pm 1.8$ L/min), with the same result for peak V_E (T5: E₁ = 80.2 ± 6.8 , E₂ = 95.6 ± 9.9 , $\Delta = 15.4 \pm 14.4$ L/min, T20:

$E_1 = 82.5 \pm 5.6$, $E_2 = 91.4 \pm 9.0$, $\Delta = 8.9 \pm 9.2$ L/min, $P \leq 0.001$), for mean V_E/VO_2 (T5: $E_1 = 27.0 \pm 1.5 \pm 3.9$, $E_2 = 28.9 \pm 1.5$, $\Delta = 2.0 \pm 0.9$ L/L, T20: $E_1 = 26.9 \pm 1.3$, $E_2 = 27.4 \pm 1.2$, $\Delta = 0.5 \pm 0.6$ L/L, $P \leq 0.001$) and for mean f (T5: $E_1 = 35 \pm 4$, $E_2 = 41 \pm 6$, $\Delta = 6 \pm 3$ L/min, T20: $E_1 = 35 \pm 4$, $E_2 = 39 \pm 4$, $\Delta = 4 \pm 1$ breaths/min, $P \leq 0.01$). From E_1 to E_2 , mean V_T variation was not significantly different between T5 ($E_1 = 1541 \pm 182$, $E_2 = 1518 \pm 202$, $\Delta = -23 \pm 58$ mL/breath) and T20 ($E_1 = 1543 \pm 193$, $E_2 = 1498 \pm 195$, $\Delta = -45 \pm 52$ mL/breath).

Mean time estimation of complete air depletion (1800 L/Mean V_E) was much lower than 45 minutes in T5 (E_1 : 34min01sec, E_2 : 29min24sec) and in T20 (E_1 : 33min31sec, E_2 : 31min21sec). Estimated time decreased from E_1 to E_2 by an average of 4min37sec in T5 and 2min10sec in T20, a significant difference of 2min26sec ($P \leq 0.001$). Moreover, mean time estimation before the low air pressure alarm sounds in E_1 and E_2 was, respectively, 22min28sec and 19min52sec in T5 and 22min04sec and 20min46sec in T20. Estimated time decreased from E_1 to E_2 by a mean of 2min36sec in T5 and 1min18sec in T20, a significant difference of 1min18sec ($P \leq 0.001$).

Mean Δ [HHb] increase from E_1 to E_2 was higher ($P \leq 0.05$) in T5 ($E_1 = 4.3 \pm 2.3$, $E_2 = 5.3 \pm 3.1$, $\Delta = 1.1 \pm 1.3$ a.u.) than in T20 ($E_1 = 4.5 \pm 3.2$, $E_2 = 4.6 \pm 3.3$, $\Delta = 0.1 \pm 1.0$ a.u.), and the same for mean Δ [HHb]/ VO_2 (T5: $E_1 = 2.2 \pm 1.2$, $E_2 = 2.5 \pm 1.5$, $\Delta = 0.3 \pm 0.6$ a.u./L, T20: $E_1 = 2.3 \pm 1.6$, $E_2 = 2.2 \pm 1.6$, $\Delta = -0.1 \pm 0.5$ a.u./L, $P \leq 0.05$).

$[La^+]$ increase from E_1 to E_2 was higher ($P \leq 0.01$) in T5 ($E_1 = 2.5 \pm 1.3$, $E_2 = 3.5 \pm 1.9$, $\Delta = 1.1 \pm 0.6$ mmol/L) than in T20 ($E_1 = 2.8 \pm 1.1$, $E_2 = 3.0 \pm 1.1$, $\Delta = 0.1 \pm 0.3$ mmol/L).

Results also show that VO_{2max} was significantly correlated with the increase of mean HR ($\%HR_{max}$) from E_1 to E_2 in T20 ($r = -0.672$, $P = 0.012$) but not in T5 ($r = -0.398$, $P = 0.178$), and with the increase of mean V_E ($\%V_{Emax}$) from E_1 to E_2 in T20 ($r = -0.646$, $P = 0.017$) but not in T5 ($r = -0.424$, $P = 0.148$).

Figure 5.3 presents physiological variations in the 20-minute recovery period after E₂ in T5 and T20. As shown, AT and HR were significantly higher in T5 than in T20. However, no significant difference was observed in ATR, CATR, HRR and CHRR between T5 and T20.

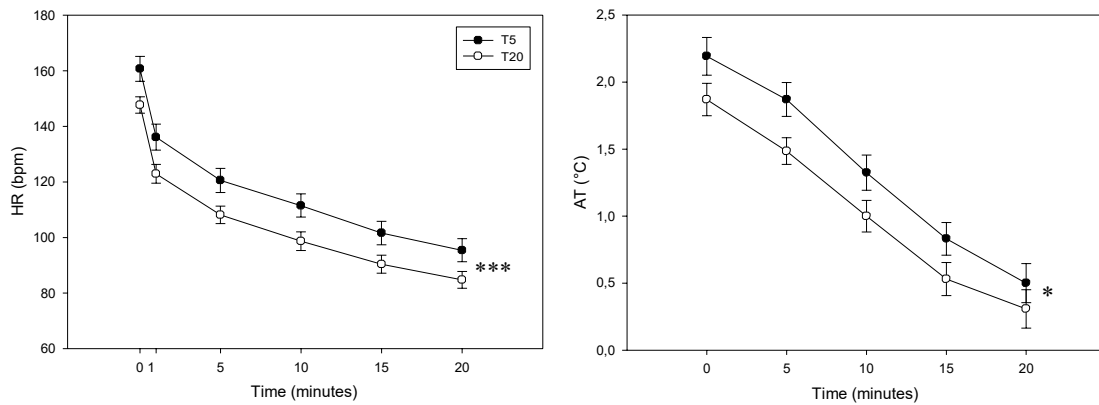


Figure 5.3 Heart rate (HR) and aural temperature (AT) during the 20-min recovery period after E₂ in T5 and T20.

***: Global mean (1st to 20th minutes) HR is significantly different between T5 and T20 at $P < 0.001$.

*: Global mean (5th to 20th minutes) AT is significantly different between T5 and T20 at $P < 0.05$.

Values are means \pm SEM.

5.6 Discussion

This study was conducted to compare the physiological responses between two firefighting simulations with different recovery periods, one simulation following NFPA recommendations, the other not. As mentioned earlier, firefighters on the ground commonly take only a very short recovery period between two work bouts. The main finding was that, regarding the recovery period between two effort bouts of simulated common fireground activities, the short 5-minute period led to significantly higher cardiac strain than the 20 minutes, disproportionately with metabolic rate.

Prior to addressing the main findings of the present study, the physiological responses of the intermittent treadmill protocol used to simulate common fireground activities are discussed. These responses should be similar to those of realistic firefighting activities since this intermittent treadmill effort bout was designed with firefighting specific tasks and work-rest cycles. HR and VO_2 responses of E_1 were measured during T5 and T20 to compare physiological responses to real/realistic firefighting activities. During E_1 , peak HR increased to approximately 86% of HR_{max} , which is commonly observed in firefighters during live-fire (3,4). Peak VO_2 was $36.3 \text{ mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ or approximately 75% of $\text{VO}_{2\text{max}}$, which is similar to the values reported by Ensari et al. [21] who measured the metabolic demand of firefighting tasks. In sum, in the present study, the intermittent treadmill effort bout appears to simulate the physiological demand of firefighting activities since tasks, work-rest cycles and physiological responses were similar.

From E_1 to E_2 , mean HR rose by 19.3% in T5, which is significantly greater than the 10.8% increase in T20. This higher increase could be first explained in part by the slight but significantly corresponding increase of mean VO_2 (T5: +7.2%, T20: +5.0%). It is well known that HR rises concomitantly with VO_2 during exercise (22). As for the higher VO_2 increase from E_1 to E_2 in T5, it seems partly attributable to a higher oxygen extraction in active skeletal muscles, since $\Delta[\text{HHb}]$ measured in *vastus lateralis* increased more in T5 than in T20 from E_1 to E_2 . Moreover, the $\Delta[\text{HHb}]/\text{VO}_2$ ratio also increased more in T5 than in T20 from E_1 to E_2 , suggesting that oxygen extraction in the *vastus lateralis* per $\text{mL O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ of systemic VO_2 was higher and represented a significant proportion of the VO_2 increase. The greater increase of hyperthermia measured with AT may underlie the greater oxygen extraction of the *vastus lateralis* in T5 because heat stress increases the metabolic rate to perform submaximal exercise (23) and may result in increased muscle glycogen utilization and blood lactate accumulation (23,24). This is consistent with the results of the present study: blood lactate accumulation was higher in T5 than in T20 from E_1 to E_2 . The higher heat stress and blood lactate accumulation could in turn increase *vastus lateralis*' oxygen extraction since heat (25) and lactic acidosis (26,27) are important contributors to oxygen dissociation from hemoglobin during exercise. The higher VO_2 increase from E_1 to E_2 in T5 may also be caused by a higher myocardial oxygen

consumption as discussed later as well as by a higher respiratory muscles oxygen consumption (28), considering that V_E and V_E/VO_2 rose significantly more in T5 than in T20 from E_1 to E_2 . The greater increase of V_E may be associated with the concomitant increase of metabolic rate (29) and hyperthermia, which may stimulate ventilation during exercise (30). Consistent with Fujii et al. (31), we observed that the increase of V_E from E_1 to E_2 was due to an increase in f since V_T decreased slightly and similarly in T5 and T20. In short, the higher metabolic rate in T5 partly explains the higher cardiac strain observed. However, metabolic rate increased less than cardiac strain, which suggests that other parameters could explain the increase of cardiac strain.

The higher HR increase from E_1 to E_2 in T5 may also be ascribed to the corresponding decrease of estimated stroke volume (SV) predicted with O_2 pulse (16). It is known that SV commonly decreases during fire suppression (32,33). Gonzalez-Alonso et al. [34] observed an independent and synergistic effect of hyperthermia and dehydration on decreasing SV and increasing HR. Fehling et al. [35] also observed that both hyperthermia and dehydration contribute to increase HR during firefighting simulation. This is consistent with our results showing that AT and thermal sensation increased significantly more from E_1 to E_2 in T5 than in T20. In addition, sweat loss was higher during T5 than in T20 and water intake during the very short 5-minute recovery period between E_1 and E_2 was significantly lower than water intake during the 20-minute recovery between E_1 and E_2 in T20. Those results suggest that the very short 5-minute recovery in T5 caused a higher increase of hyperthermia and dehydration compared with the 20-minute recovery in T20 and led to a greater decrease of SV and increase of HR. However, we did not measure core temperature, hydration state and SV during effort bouts.

It is likely that the increased metabolic rate as reflected by VO_2 was not the principal parameter accounting for the significantly higher increase of HR in T5 since mean VO_2 ($\%VO_{2max}$) in E_2 was similar between T5 and T20 (52.0 and 51.5 respectively) in comparison with mean HR ($\%HR_{max}$) (86.3 and 79.4). The significant correlation between VO_{2max} and the increase of mean HR ($\%HR_{max}$) from E_1 and E_2 found in T20 but not in T5 suggests that a high cardiorespiratory fitness has less effect on the reduction of cardiac strain when firefighting work bouts are intercalated by short recovery periods. Moreover, peak VO_2 ($\%VO_{2max}$) in E_2 was similar

between T5 and T20 (77.7 and 78.5 respectively) in comparison with peak HR ($\%HR_{\max}$) (97.6 and 93.3). Five firefighters out of thirteen in T5 reached a higher HR in E₂ than their HR_{\max} measured during the GWT in comparison with only one firefighter in T20. Differences of cardiac strain between T5 and T20 may be attributed for the most part to a higher hyperthermia and dehydration in T5 since the difference in increase of VO_2 between T20 and T5 was slight in comparison with HR.

According to Brooks et al. [10], because of hyperthermia and/or dehydration, HR increases to compensate for the decrease of SV so as to maintain CO and blood pressure (BP) since BP is equal to the product of CO and total peripheral resistance. Rowell [36] observed reductions in total peripheral resistance during exercise-induced heat stress, necessitating an increase in CO to prevent decreases in BP. The increase of CO during exercise-induced heat stress is mainly achieved through HR and adjustments to cardiac inotropic properties (36), resulting in increased myocardial work. In the present study, mean estimated CO increased from E₁ to E₂, more in T5 than in T20. The higher increase of HR and estimated CO as well as the conjugate maintenance of BP suggest that cardiac work increased more from E₁ to E₂ in T5 because the rate pressure product ($RPP = HR \times SBP$) is highly correlated with myocardial oxygen consumption (37,38) and because HR is the most important factor affecting oxygen consumption in the heart (10). This is consistent with the study of Lefferts et al. (39) who observed that heat stress induced by moderate exercise simulating firefighting and firefighter PPE increases myocardial work, assessed through different variables (including RPP) and reduced coronary perfusion, creating an oxygen supply-demand mismatch. According to Vlachopoulos, O'Rourke and Nichols [40] and Custodis et al. [41], a higher HR increases cardiac work by more frequent ventricular contractions and concomitantly decreases diastole duration, reducing the overall time available for coronary perfusion. Thus, a shortened recovery period between firefighting work bouts is more prone to induce a myocardial oxygen supply-demand mismatch and coronary arteries shear stress and, consequently, to increase the risk of cardiac events.

In addition, a shortened recovery period between firefighting work bouts also influenced air uptake. Participants wore a 45-minute SCBA, with a time duration calculated at a ventilation rate of 40 L/min determined by the National Institute for Occupational Safety and Health

(NIOSH), resulting in a total volume of 1800 L of air. Firefighters recognize, however, that the real duration of work while wearing an SCBA may be substantially less than the nominal values (42). In the present study, mean V_E measured with a gas analyzer exceeded the ventilation rate of 40 L/min in every 25-minute effort bout. Results demonstrate that a shortened recovery period after a firefighting work bout may further reduce the time until the low air pressure alarm sounds or the time to deplete the cylinder in a subsequent work bout when compared with a 20-minute recovery period based on NFPA recommendations. This could have negative consequences including less than ideal time to rescue a victim or team mate or escape from the fire. Firefighters are aware that there is limited time for a safe exit after the low pressure alarm sounds (42). As estimated above, a gap of 1 or 2 minutes can make the difference between a successful emergency intervention and a potentially dangerous situation. A significant correlation between VO_{2max} and the increase of mean V_E ($\%V_{Emax}$) from E_1 to E_2 was found in T20 but not in T5. VO_{2max} was found to be an important predictor of air intake in firefighters (43,44). It is likely that hyperthermia was also an important cause of air utilization increase in T5 as suggested earlier. According to Cheung et al. [45], cardiorespiratory fitness appears to provide some degree of exercise-heat tolerance in uncompensable heat stress. Hydration, however, is the most effective countermeasure.

HR and AT during the 20-minute recovery period after both effort bouts were also compared for T5 and T20 (Figure 5.3). Mean HR and AT were observed to be higher in T5 than in T20 during the entire recovery period. However, no difference was observed in HR and AT recovery rate. These results demonstrate that a shortened recovery period after a firefighting work bout results in greater cardiac and thermal strain than a 20-minute recovery period, not only in a second work bout, but also in a subsequent 20-minute recovery period, and potentially in a third work bout. More time is necessary to recover from an intervention consisting of two 25-minute work bouts separated by a short 5-minute recovery period than by a 20-minute recovery period. However, in both protocols, the subsequent 20-minute passive recovery period was not sufficient for HR and AT to return to their baseline values. At the end of the 20-minute recovery period following both effort bouts, HR was higher than HR_{rest} by 27 and 17 bpm, and AT was higher than $AT_{baseline}$ by 0.5 and 0.3°C in T5 and T20 respectively. This is consistent with other studies. As previously mentioned, 30 minutes of passive recovery at $22.2 \pm 2.6^\circ\text{C}$ with SCBA,

helmet, gloves, jacket and hood removed, and an intake of 500 mL of water (ambient temperature), are not sufficient for HR and core temperature to return to their baseline value after a single 20-minute work bout (8). Horn et al. (46) also observed that, after a single 18-minute work bout, HR and core temperature did not return to baseline until approximately 50-80 minutes of passive recovery at approximately 20°C, with water provided *ad libitum* and with SCBA, helmet, gloves, jacket and hood removed. Moreover, Horn et al. (4) observed that the recovery of HR and core temperature correlates with the time allowed between work cycles.

The study has limitations that may have affected our results. First, exercise bouts were performed in a thermoneutral laboratory rather than under live fire conditions. However, Barr et al. [47] mentioned that endogenous heat production while wearing PPE is sufficient to impose heat strain when the physical activity is of a strenuous nature, even in the absence of a high ambient temperature. Fehling et al. [35] also reported that HR responses and levels of thermal strain measured in a thermoneutral laboratory were within the range reported in studies under live fire conditions. Furthermore, our firefighting simulation protocol was minimally stressful psychologically, which probably resulted in an underestimation of the HR responses. Finally, a representative sample of the firefighters' population (48,49) might have produced stronger results and sharper differences, as participants in the present study were younger and at low CVD risk.

5.7 Conclusion

Results of this study indicate that a shortened recovery period between firefighting work bouts increases significantly more cardiac strain than a 20-minute recovery period and support the assertion that this increased cardiac strain is disproportionate with metabolic rate. The increase in cardiac strain appears to be mainly caused by a higher thermal strain and dehydration. To prevent on-duty cardiac events in firefighters, therefore, we suggest they be allowed ample recovery time between work bouts during an intervention. According to Walker al. [7], operational decisions at emergency incidents are integrally linked to the number of available firefighters and appliances. They suggest it would be reasonable to increase the number of

firefighters deployed to emergency incidents to allow shorter work intervals and longer rest periods.

Clinical significance

The higher cardiac and thermal strain observed in the firefighting simulation which consists of two work bouts intercalated by a shortened recovery period highlights the necessity to allow longer rest periods before returning to work after using a conventional 45-minute air cylinder.

Conflicts of interest

All authors declare they have no conflict of interest.

Acknowledgements

Philippe Gendron was supported by a doctoral research scholarship from Fonds de recherche du Québec en santé (FRQS). The authors thank Dr. Magali Brousseau-Foley for the medical follow-up of the participants. They are also grateful to the *Service de sécurité incendie de Trois-Rivières* for providing all PPE and encouraging their firefighters to participate in this study, to the union of the *Service de sécurité incendie de Trois-Rivières* for encouraging their members to participate in this study, to the *Service de sécurité incendie de Shawinigan* for providing the tools and test equipment and to *Protection Incendie CFS Ltée* for providing the SCBA. Finally, thanks are due to all volunteer study participants.

5.8 References

1. Smith DL, Barr DA, Kales SN. Extreme sacrifice: sudden cardiac death in the US Fire Service. *Extrem Physiol Med.* 2013;2(1):6.
2. Smith DL, DeBlois JP, Kales SN, Horn GP. Cardiovascular Strain of Firefighting and the Risk of Sudden Cardiac Events. *Exerc Sport Sci Rev.* 2016;44(3):90-97.

3. Smith DL, Liebig JP, Steward NM, Fehling PC. Sudden Cardiac Events in the Fire Service: Understanding the Cause and Mitigating the Risk. Saratoga Springs, NY: Skidmore College; 2010.
4. Horn GP, Blevins S, Fernhall B, Smith DL. Core Temperature and Heart Rate Response to Repeated Bouts of Firefighting Activities. *Ergonomics*. 2013;56(9):1465–1473.
5. Fahy RF, LeBlanc PR, Molis JL. US Firefighters Fatalities in the United States-2016. National Fire Protection Association (NFPA); 2017.
6. NFPA 1584. Standard on the Rehabilitation Process for Members during Emergency Operations and Training Exercises. National Fire Protection Association (NFPA); 2015.
7. Walker A, Argus C, Driller M, Rattray B. Repeat work bouts increase thermal strain for Australian firefighters working in the heat. *Int J Occup Environ Health*. 2015;21(4):285-293.
8. Colburn D, Suyama J, Reis SE, et al. A comparison of cooling techniques in firefighters after a live burn evolution. *Prehosp Emerg Care*. 2011;15(2):226-232.
9. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
10. Brooks GA, Fahey TD, Baldwin KM. Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Application. 3rd ed. Boston (MA): McGraw Hill Co; 2005.
11. Deakin JM, Pelot RP, Smith JM, et al. Development of a bona fide physical maintenance standard for CF and DND firefighters. Queen's University, Kingston, Ont.; 1996.
12. Todd Rogers TW, Docherty D, Petersen S. Establishment of performance standards and a cut-score for the Canadian Forces Firefighter Physical Fitness Maintenance Evaluation (FF PFME). *Ergonomics*. 2014;57(11):1750-1759.

13. Canadian Society for exercise physiology. CSEP-PATH: Physical activity training for health; 2013.
14. Molina GE, Fontana KE, Porto LGG, Junqueira LF. Post-exercise heart-rate recovery correlates to resting heart-rate variability in healthy men. *Clin Auton Res.* 2016;26(6):415-421.
15. Belardinelli R, Barstow TJ, Porszasz J, Wasserman K. Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;70(6):487-492.
16. Bhambhani Y, Norris S, Bell G. Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Can J Appl Physiol.* 1994;19(1):49-59.
17. Huggins R, Glaviano N, Negishi N, Casa DJ, Hertel J. Comparison of rectal and aural core body temperature thermometry in hyperthermic, exercising individuals: a meta-analysis. *J Athl Train.* 2012;47(3):329-338.
18. Young AJ, Sawka MN, Epstein Y, Decristofano B, Pandolf KB. Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *J Appl Physiol.* 1987;63(3):1218-1223.
19. Laurencelle L. Hasard, nombres aléatoires et méthode Monte Carlo. Presses de l'Université du Québec; 2001.
20. NFPA 1582. Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Department. National Fire Protection Association (NFPA); 2015.
21. Ensari I, Motl RW, Klaren RE, Fernhall B, Smith DL, Horn GP. Firefighter exercise protocols conducted in an environmental chamber: developing a laboratory-based simulated firefighting protocol. *Ergonomics.* 2017;60(5):657-668.

22. Lindhard J. Ueber das Minutenvolum des Herzens bei Ruhe und bei Muskelarbeit. *Pflügers Arch.* 1915;161(5-7):233-383.
23. Young AJ. Energy substrate utilization during exercise in extreme environments. *Exerc Sport Sci Rev.* 1990;18(1):65-118.
24. Febbraio MA. Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc Sport Sci Rev.* 2000;28(4):171-176.
25. Barcroft J. The respiratory function of the blood. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1914.
26. Grassi B, Quaresima V, Marconi G, Ferrari M, Cerretelli P. Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol.* 1999;87:348-355.
27. Stringer W, Wasseiman K, Casaburi R, Porszasz J, Maehara K, French W. Lactic acidosis as a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *J Appl Physiol.* 1994;76:1462-1467.
28. Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, Dempsey JA. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol.* 1992;72(5):1818-1825.
29. Herxheimer H, Kost R. Das verhältnis von sauerstoffaufnahme und kohlen-säureausscheidung zur ventilation bei harter muskellarbeit. *Z Klin Med.* 1932;108:240-247.
30. MacDougall JD, Reddan WG, Layton CR, Dempsey JA. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *J Appl Physiol.* 1974;36(5):538-544.
31. Fujii N, Honda Y, Hayashi K, Soya H, Kondo N, Nishiyasu T. Comparison of hyperthermic hyperpnea elicited during rest and submaximal, moderate-intensity exercise. *J Appl Physiol.* 2008;104(4):998-1005.

32. Fernhall B, Fahs CA, Horn G, Rowland T, Smith DL. Acute effects of firefighting on cardiac performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(2):735-741.
33. Smith DL, Manning TS, Petruzzello SJ. Effect of strenuous live-fire drills on cardiovascular and psychological responses of recruit firefighters. *Ergonomics.* 2001;44(3):244-254.
34. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol.* 1997;82(4):1229-1236.
35. Fehling PC, Haller JM, Lefferts WK, et al. Effect of exercise, heat stress and dehydration on myocardial performance. *Occup Med.* 2015;65(4):317-323.
36. Rowell LB. Human circulation regulation during physical stress. New York (NY): Oxford University Press; 1986.
37. Kitamura K, Jorgensen CR, Gobel FL, Taylor HL, Wang Y. Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *J Appl Physiol.* 1972;32:516–522.
38. Nelson RR, Gobel FL, Jorgensen CR, Wang K, Wang Y, Taylor HL. Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation.* 1974;50:1179–1189.
39. Lefferts WK, Heffernan KS, Hultquist EM, Fehling PC, Smith DL. Vascular and central hemodynamic changes following exercise-induced heat stress. *Vasc Med.* 2015;20(3):222-229.
40. Vlachopoulos C, O'Rourke M, Nichols WW. McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental and clinical principles. London (UK): CRC press; 2011

41. Custodis F, Schirmer SH, Baumhäkel M, Heusch G, Böhm M, Laufs U. Vascular pathophysiology in response to increased heart rate. *J Am Coll Cardiol.* 2010;56(24):1973-1983.
42. Bernzweig D. Expanding “time to exit” for firefighters. *Fire Eng.* 2004;157(6):63-74.
43. Gendron P, Freiburger E, Laurencelle L, Trudeau F, Lajoie C. Greater physical fitness is associated with better air ventilation efficiency in firefighters. *Appl Ergon.* 2015;47:229-235.
44. Windisch S, Seiberl W, Schwirtz A, Hahn D. Relationships between strength and endurance parameters and air depletion rates in professional firefighters. *Sci Rep.* 2017;7:44590.
45. Cheung SS, McLellan TM, Tenaglia S. The thermophysiology of uncompensable heat stress. *Sports Med.* 2000;29(5):329-359.
46. Horn GP, Gutzmer S, Fahs CA, et al. Physiological recovery from firefighting activities in rehabilitation and beyond. *Prehosp Emerg Care.* 2011;15(2):214-225.
47. Barr D, Gregson W, Reilly T. The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Appl Ergon.* 2010;41(1):161-172.
48. Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters. *J Occup Environ Med.* 2018;60(6):e300-e306.
49. Gendron P, Lajoie C, Laurencelle L, Trudeau F. Cardiovascular disease risk factors in female firefighters. *Occup Med.* 2018;68(6):412-412.

Chapitre 6 - Discussion générale

Le premier objectif de cette thèse était de dresser un portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec dans le but d'en connaître davantage sur leur risque de maladie cardiovasculaire (MCV) telle qu'une maladie coronarienne ou une cardiomégalie/HVG. Les études 1 et 2 ont permis d'estimer la prévalence des facteurs de risque, des symptômes et des MCV chez les pompiers et pompières du Québec et d'en faire la comparaison à la population québécoise.

Le deuxième objectif était de comparer la pratique d'activités physiques hebdomadaire et l'état de santé cardiovasculaire des pompiers qui font et qui ne font pas de conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail.

Enfin, le troisième objectif était de comparer et caractériser la contrainte cardiaque engendrée par deux interventions simulant les tâches du métier de pompiers constituées de deux phases de travail identiques entrecoupées d'une période de récupération passive écourtée de 5 minutes ou d'une période de récupération passive de 20 minutes.

Dans les sections qui suivent, les principaux résultats obtenus suite à la réalisation de ces quatre études et leurs considérations méthodologiques sont discutés. Il est ensuite question des perspectives pratiques et perspectives de recherche.

6.1 Portrait de la santé cardiovasculaire des pompiers et pompières du Québec

L'étude 1 permet de constater qu'une proportion importante de pompiers est à risque de développer une MCV. Tout d'abord, on observe que 24% des pompiers souffrent d'obésité. Lorsqu'on compare les pompiers à une population de référence composée d'hommes adultes du Québec (Institut national de santé publique du Québec, 2014), on remarque que, chez les 18-44 ans, la prévalence d'obésité (18,8%) est similaire. Toutefois, contrairement à notre hypothèse initiale, la prévalence d'obésité chez les pompiers est significativement plus élevée chez les 45-64 ans, soit 29% *versus* 22%. Ces résultats sont préoccupants, considérant que l'obésité est un important facteur de risque de maladie coronarienne (Mann et coll. 2014) et un excellent prédicteur indépendant de la masse du ventricule gauche chez les pompiers (Korre et coll. 2016), deux problèmes de santé largement diagnostiqués chez les pompiers décédés suite à un événement cardiaque au travail (Smith et coll. 2018a; 2018b). L'obésité augmente le risque (RR : 2,2; IC95% : 1,3 – 3,8) de décéder d'un événement cardiaque au travail chez les pompiers de moins de 45 ans, indépendamment des autres facteurs de risque (Yang et coll. 2013). De plus, l'obésité peut intensifier la contrainte cardiovasculaire lors de la réalisation des tâches du métier de pompier (Horn et coll. 2013; McLellan et coll. 2013), celles-ci étant pour la plupart physiquement exigeantes (Elsner et Kolkhorst 2008; Ensari et coll. 2017; Gledhill et Jamnik 1992; Kesler et coll. 2018; von Heimburg et coll. 2006). D'ailleurs, l'étude 1 permet aussi de constater que 42% des pompiers ne rencontrent pas la norme de la NFPA stipulant qu'une capacité cardiorespiratoire minimale de $42 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (12 METs) est requise pour réaliser les tâches du métier de pompier. En plus de réduire la contrainte cardiovasculaire subie pour une même intensité de travail (Holmér et Gavhed 2007; Sheaff et coll. 2010; Smith et coll. 2016), une bonne capacité cardiorespiratoire permet de réduire de façon importante le risque de MCV (Baur et coll. 2011; Baur et coll. 2012b; Donovan et coll. 2009; Williams 2001).

Douze pour cent des pompiers ont déclaré souffrir d'HTA diagnostiquée. Lorsqu'on les compare aux hommes adultes du Québec (Institut national de santé publique du Québec, 2011), on remarque que la prévalence d'HTA auto-déclarée chez les pompiers est significativement plus élevée chez les 20-44 ans (5,8% *versus* 3,8%), mais pas chez les 45-64 ans (19,1 *versus* 22,5%).

Ces résultats restent préoccupants, considérant que l'HTA est un important facteur de risque de cardiomégalie/HVG (Wilson et coll. 1998), une problématique de santé largement diagnostiquée chez les pompiers décédés suite à un événement cardiaque au travail (Smith et coll. 2018a; 2018b). L'HTA augmente le risque de subir un événement cardiaque mortel au travail chez les pompiers et ce, indépendamment des autres facteurs de risque (Geibe et coll. 2008; Kales et coll. 2003; Yang et coll. 2013).

De plus, la prévalence de dyslipidémie diagnostiquée, de DT2 diagnostiqué, de tabagisme et d'inactivité physique était respectivement de 17%, 2%, 8% et 70%. La prévalence d'inactivité physique est à souligner, étant donné qu'elle est notoirement élevée et parce que la pratique d'activités physiques entretient une relation négative avec le risque de développer une maladie coronarienne, ce indépendamment de la capacité cardiorespiratoire (Williams 2001). Au moins l'un des six facteurs de risque mentionnés était observé chez 80% des pompiers tandis que 37% en présentaient au moins deux. On rapporte aussi que 38% des pompiers ont déclaré ressentir au moins l'un des symptômes majeurs de MCV et que 13% souffraient d'une MCV. En somme, 33% et 44% des pompiers ont été respectivement classés comme étant à risque moyen et élevé de MCV, ce qui est préoccupant pour des travailleurs qui ont à exécuter des tâches demandantes pour le système cardiovasculaire. Pour la plupart des facteurs de risque, la prévalence observée dans la présente étude est inférieure à celles rapportées dans la majorité des études concernant les pompiers américains (citées en introduction), ce qui porte à croire que les pompiers et pompières du Québec ont une meilleure santé cardiovasculaire et, par conséquent, un risque moindre d'événement cardiaque au travail. Toutefois, il n'est pas sans importance de noter que la prévalence d'HTA, de dyslipidémie et de DT2 dans la présente étude est basée sur la déclaration des participants, ce qui n'autorise pas d'affirmer que les participants sans diagnostic médical sont dénués de problèmes de santé. Ainsi, les prévalences n'auraient pu qu'être supérieures à celles rapportées si les résultats venaient de mesures objectives. Respectivement 54% et 58% des pompiers ont mentionné avoir passé leur dernier examen médical de routine et leur dernier bilan sanguin plus d'un an avant de compléter ce questionnaire.

L'étude 2 a permis d'observer une prévalence d'obésité et d'HTA diagnostiquée de 12% et 5% chez les pompières du Québec, valeurs qui ne s'écartent pas significativement de celles

rapportées chez les femmes adultes du Québec (Institut national de santé publique du Québec, 2011 et 2014). On note aussi une prévalence de dyslipidémie diagnostiquée, de DT2 diagnostiqué, de tabagisme et d'inactivité physique de 5%, 3%, 14% et 62% respectivement. Tout comme chez les pompiers masculins, l'inactivité physique est une problématique considérable chez leurs collègues féminines. De plus, 82% des pompières ne rencontrent pas la norme de la NFPA concernant la capacité cardiorespiratoire minimale. Ce résultat est préoccupant en raison de l'importance de la capacité cardiorespiratoire pour la santé cardiovasculaire ainsi que la réalisation des tâches du métier. De façon générale, les résultats de cette étude concordent avec les rares études américaines sur les pompières, à l'effet que celles du Québec comme celles des États-Unis ont un risque comparable de vivre un événement cardiaque au travail (Jahnke et coll. 2012; Li et coll. 2017). Toutefois, tel que discuté dans le paragraphe précédent, la prévalence des facteurs de risque n'aurait pu qu'être plus élevée en obtenant des mesures objectives, sachant que respectivement 50% et 61% des pompières ont mentionné avoir passé leur dernier examen médical de routine et leur dernier bilan sanguin plus d'un an avant de compléter le questionnaire. Au moins l'un des six facteurs de risque mentionnés était observé chez 73% des pompières tandis que 22% en présentaient deux ou plus. Aussi, 54% des pompières déclarent ressentir au moins un des symptômes majeurs de MCV et 32% souffriraient d'une MCV. En somme, une proportion importante de pompières est aussi à risque moyen (11%) et élevé (65%) de MCV.

La passation d'un questionnaire est efficace et peu coûteuse pour recruter un bon nombre de participants. Toutefois, certaines limites méthodologiques sont associées à cette méthode de recueil de données. Tout d'abord, en plus d'une sous-estimation possible de la présence des facteurs de risque, moins facilement détectables, une grande proportion de pompiers et pompières a déclaré ressentir au moins un symptôme associé à une MCV. Ces mesures relèvent en bonne partie de la perception des participants, engendrant possiblement une mésestimation de la prévalence. De plus, le VO_{2max} des participants a été estimé à l'aide d'un questionnaire validé (Trivel et coll. 2004) : il s'agit d'un outil commode qui rend possible l'évaluation d'un grand nombre de participants, toutefois la mesure de ce paramètre à l'aide d'un analyseur métabolique aurait fourni des valeurs plus sûres. Aussi, il n'a pas été possible de déterminer le nombre exact de pompiers à temps plein, à temps partiel et volontaires rejoints pour participer

à cette étude, le taux de participation étant impossible à établir. Cependant, la majorité des pompiers à temps plein et seulement une minorité de pompiers à temps partiel et volontaires ont été contactés, ce qui explique la proportion plus élevée de pompiers à temps plein dans l'échantillon. Il aurait été intéressant de recruter plus de pompiers à temps partiel ou volontaires, considérant que la majorité des pompiers du Québec ont ces statuts d'emploi. Enfin, un nombre plus élevé de participant(e)s recruté(e)s aurait été bénéfique pour améliorer la représentation de la population des pompiers et pompières du Québec.

6.2 Conditionnement physique en caserne

Les résultats obtenus suite à l'étude 3 montrent que les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pratiquent au total plus d'activités physiques par semaine que les pompiers qui n'en font pas. Ce constat est d'autant plus intéressant qu'on observe que ces deux groupes de pompiers pratiquent autant d'activités physiques hors des heures de travail, ce qui permet d'inférer que le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail permet aux pompiers de pratiquer plus d'activités physiques par semaine au total. Cette pratique supplémentaire pourrait réduire davantage le risque de maladie coronarienne, considérant qu'une relation négative a été rapportée entre ces variables (Williams 2001). De plus, cette pratique supplémentaire d'activités physiques n'est pas à négliger, sachant que, selon les résultats de nos études 1 et 2, une grande proportion de pompiers et pompières du Québec ne satisfait pas les recommandations de l'ACSM et de l'OMS en cette matière. Les résultats montrent également que la prévalence d'inactivité physique est largement inférieure chez les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail.

De plus, une proportion beaucoup plus élevée de pompiers qui font du conditionnement physique pendant les heures de travail a accès à des installations pour l'entraînement physique dans la caserne, un facteur facilitateur. Octroyer du temps pour faire du conditionnement physique en caserne et fournir des installations pour l'entraînement physique font justement partie des recommandations des chercheurs (Kales et Smith 2014) et du *The Fire Service Joint Labor Management Wellness-Fitness Initiative* (WFI), un programme spécifique de promotion

de la santé pour les pompiers développé en 2008 par la International Association of Fire Fighters (IAFF) et la International Association of Fire Chiefs (IAFC). Dans une étude transversale, Poston et coll. (2013) observent que, dans les casernes qui mettent en pratique ce programme, une proportion plus élevée de pompiers pratiquent plus activité physique de façon régulière en caserne que les pompiers travaillant dans des casernes sans programme de promotion de la santé.

Tel que discuté précédemment, seule l'obésité mesurée avec l'IMC chez les pompiers a été démontrée comme étant un prédicteur du risque de décéder d'un événement cardiaque au travail (Yang et coll. 2013). Dans l'étude 3, la prévalence d'obésité établie avec l'IMC n'était pas différente entre les pompiers faisant du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail et les pompiers qui n'en font pas. Il est toutefois possible que le risque d'événement cardiaque au travail soit plus faible chez les pompiers faisant du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail, étant donné que ceux-ci présentaient une prévalence inférieure d'obésité viscérale que les pompiers qui n'en font pas. La circonférence de taille est la meilleure mesure anthropométrique pour estimer l'accumulation de tissu adipeux viscéral abdominal (Pouliot et coll. 1994), un excellent prédicteur indépendant d'infarctus du myocarde, selon Dagenais et coll. (2005). Ces derniers rapportent aussi que la circonférence de taille est un meilleur prédicteur d'infarctus du myocarde que l'IMC. En effet, ils démontrent que, après contrôle statistique pour la circonférence de taille, l'IMC n'est pas un prédicteur de l'infarctus du myocarde. La circonférence de taille pourrait alors être un meilleur prédicteur d'événement cardiaque au travail chez les pompiers. Nulle étude n'étant recensée sur le lien prédictif entre ces deux variables, il serait opportun d'en entreprendre une chez les pompiers.

De plus, on constate que les pompiers faisant du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail ont tendance (différence non significative) à avoir une circonférence de taille et un IMC inférieurs à ceux des pompiers qui n'en font pas. En plus de ses effets néfastes sur la santé cardiovasculaire, un surplus de poids peut engendrer une augmentation de la contrainte cardiovasculaire subie au travail et, par conséquent, du risque d'événement cardiaque. En fait, pour les tâches qui nécessitent de soulever son propre poids, la surcharge pondérale élève l'intensité de travail (Williford et coll. 1999), augmentant ainsi la demande métabolique

en oxygène et la production de chaleur métabolique, et elle diminue la capacité thermique globale du corps (Selkirk et McLellan 2001).

Un point fort de l'étude 3 est que les caractéristiques physiques des participants permettent de conclure qu'ils sont représentatifs des pompiers à temps plein du Québec (voir étude 1): l'IMC moyen après ajustement statistique pour l'âge ($27,64 \pm 3,18$ vs. $27,57 \pm 3,18$ kg/m², $P=0,830$) et la prévalence d'obésité mesurée à l'aide de l'IMC (21,9 vs. 22,8%, $P=0,897$) n'étaient pas différents. Néanmoins, cette étude présente certaines limites méthodologiques à considérer. Tout d'abord, son devis transversal limite la capacité à interpréter de manière causale la relation entre la pratique d'activités physiques en caserne pendant les heures de travail et la santé cardiovasculaire. De plus, la probabilité (bilatérale) des différences entre les deux groupes pour la circonférence de taille et l'IMC était légèrement supérieure à 5%, probablement en raison d'un manque de puissance statistique dû à la taille réduite de l'échantillon. Une estimation de la puissance statistique faite à rebours à partir des résultats obtenus était respectivement de 0,49 et 0,47 : il est probable qu'un plus grand nombre de participants aurait contribué à diminuer la probabilité (sous le seuil $P=0,05$) et à déclarer la significativité. Sur la base des valeurs de puissance susmentionnées, le double du nombre de participants (~220) aurait fourni une puissance d'environ 0,80. Ensuite, certaines mesures de FC et de pression artérielle peuvent être imprécises, car, pour des raisons logistiques, les participants ont été testés à différentes heures de la journée, certains même au retour d'une intervention. L'imprévisibilité des alertes en caserne empêchait les participants de suivre des instructions préliminaires spécifiques. Enfin, la capacité cardiorespiratoire aurait dû être mesurée, considérant qu'une meilleure capacité cardiorespiratoire est un excellent prédicteur inverse et indépendant du risque de maladie coronarienne (Williams 2001), et est associé à un risque diminué de MCV chez les pompiers (Baur et coll. 2011; Baur et coll. 2012b; Donovan et coll. 2009), en plus de permettre à l'individu de subir une contrainte cardiovasculaire moindre pour une même intensité de travail (Holmér et Gavhed 2007; Sheaff et coll. 2010; Smith et coll. 2016). Pour des raisons logistiques, il n'a pas été possible de mesurer la capacité cardiorespiratoire des pompiers en milieu de travail et les ressources requises pour que les pompiers puissent se déplacer jusqu'au laboratoire étaient trop importantes. La capacité cardiorespiratoire des pompiers aurait pu alors être estimée à l'aide d'un questionnaire (Trivel et coll. 2004), comme dans les études 1 et 2. Toutefois, les

participants étant regroupés selon qu'ils faisaient ou non de l'activité physique en caserne pendant les heures de travail, cette mesure de capacité respiratoire aurait été biaisée, étant donné que la pratique d'activités physiques est un item important du questionnaire pour l'estimer. Elle n'a donc pas été utilisée.

6.3 Contrainte cardiaque lors de simulations d'intervention

Dans le cadre de l'étude 4, la FC moyenne a augmenté de 19% entre la première et la deuxième phase de travail lorsqu'elles étaient séparées d'une période écourtée de repos passif de 5 minutes. Cette augmentation diffère significativement de celle de 11% observée lorsque les phases de travail étaient séparées d'une période de repos passif de 20 minutes, laquelle respecte la recommandation de la NFPA. La FC pic a aussi augmenté davantage entre la première et la deuxième phase de travail lorsqu'elles étaient séparées de 5 minutes de repos plutôt que 20 (11% *versus* 6%). De plus, 5 pompiers sur 13 ont atteint une FC pic plus élevée que leur FC_{max} (mesurée pendant le test progressif maximal) pendant la deuxième phase de travail précédée de 5 minutes de repos, alors que cela n'a été observé que chez un seul participant lorsque cette phase de travail était précédée de 20 minutes de repos. Une courte période de récupération entre deux phases de travail simulant les tâches du métier de pompier amplifie donc la contrainte cardiaque subie, la FC étant le principal paramètre qui influence la consommation myocardique en oxygène (Brooks et coll. 2005). On constate que cette différence ne semble qu'en partie explicable par la faible et significative différence d'augmentation du taux métabolique (consommation d'oxygène moyenne). À l'exercice, la FC s'élève en fonction des besoins en oxygène (Brooks et coll. 2005). Or, la consommation d'oxygène moyenne a seulement augmenté de 7% et 5% entre la première et la deuxième phase de travail lorsqu'elles étaient séparées d'une période de repos de 5 et 20 minutes respectivement. Cette différence d'augmentation est nettement inférieure à ce qui est observé au niveau de la FC moyenne. De plus, l'augmentation de la consommation d'oxygène pic entre la première et la deuxième phase de travail était similaire dans les deux protocoles. Ceci suggère que d'autres raisons pourraient expliquer la différence d'augmentation de la FC. Selon nous, la cause principale expliquant cette différence est la chute concomitante du VES estimée à partir du pouls d'oxygène (Bhambhani et coll. 1994) : cette hypothèse concorderait avec les résultats d'études qui montrent que le VES

diminue généralement lors du combat d'un incendie (Fernhall et coll. 2012; Smith et coll. 2001a). Selon Fehling et coll. (2015) et Gonazel-Alonso et coll. (1997), l'hyperthermie et la déshydratation ont des effets indépendants et synergiques sur la diminution du VES et l'augmentation consécutive de la FC. Nos résultats vont dans ce sens, en montrant que la température du canal auditif et la perception de chaleur des pompiers ont, comme la FC, significativement plus augmenté entre la première et la deuxième phase de travail lorsque séparées par une période de repos écourtée. La perte de sueur était aussi significativement plus importante lors du protocole constitué de deux phases de travail séparées de la période de repos de 5 minutes et la consommation d'eau dans cette courte période de repos était significativement inférieure à celle mesurée pendant la période de repos plus longue. En somme, la contrainte cardiaque subie était alors plus élevée lorsque la période de repos entre les phases de travail était plus courte.

Dans les deux protocoles, après les deux phases de travail, une période de 20 minutes de repos passif était accordée aux participants. La FC moyenne et la température du canal auditif moyenne étaient plus élevées tout au long de cette période de récupération de 20 minutes suite au protocole où les deux phases de travail étaient séparées d'un repos de 5 minutes. Cependant, aucune différence n'a été observée quant à la vitesse de récupération de ces deux variables. Ces résultats montrent qu'une période de repos écourtée de 5 minutes après une phase de travail de lutte contre un incendie entraîne une contrainte cardiaque et thermique plus grande qu'une période de 20 minutes, non seulement lors de la seconde phase de travail, mais aussi lors d'une période de récupération de 20 minutes subséquente, et vraisemblablement lors d'une troisième phase de travail. Plus de temps est nécessaire pour récupérer d'une intervention consistant en deux phases de travail identiques séparées d'une période de repos de 5 minutes plutôt que 20 minutes. Toutefois, dans les deux protocoles, la période de récupération de 20 minutes qui suivait les phases de travail n'était pas suffisante pour permettre à la FC ni à la température corporelle de retrouver leurs valeurs de repos. À la fin de cette période de récupération de 20 minutes, respectivement pour les protocoles constitués d'une période de récupération de 5 et 20 minutes entre les phases de travail, la FC était supérieure de 27 et 17 bpm à la FC de repos, et la température du canal auditif était supérieure à la température du canal auditif de repos de 0,5 et 0,3°C. Ces résultats concordent avec ceux de Colburn et coll. (2011) : ces auteurs concluent

qu'une récupération passive de 30 minutes à $22,2 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, avec une consommation de 500 ml d'eau à température ambiante et où l'APRIA, le casque, les gants, le manteau et la cagoule étaient retirés, ne suffit pas pour que la FC et la température corporelle centrale puissent revenir aux valeurs de repos après une seule phase de travail de 20 minutes. Horn et coll. (2011) ont également observé qu'après une seule phase de travail de 18 minutes, la FC et la température corporelle centrale n'étaient revenues aux valeurs de repos qu'après environ 50 à 80 minutes de récupération passive sous une température ambiante de 20°C , avec de l'eau fournie à volonté et sans l'APRIA, le casque, les gants, le manteau et la cagoule.

Dans cette étude, certaines limites méthodologiques sont toutefois à prendre en considération. Premièrement, malgré les résultats intéressants obtenus, la température corporelle centrale, l'état d'hydratation et le VES n'ont pas été mesurés lors des phases de travail, la prudence étant de mise dans l'interprétation des résultats. Deuxièmement, les simulations d'intervention ont été effectuées dans un laboratoire « thermo-neutre » plutôt que dans un bâtiment en flammes; cependant, Barr et coll. (2010) mentionnent que la production métabolique de chaleur en portant un EPP suffit à imposer une contrainte thermique lorsque l'activité physique est intense, même en l'absence d'une température ambiante élevée. Fehling et coll. (2015) ont également signalé que la FC et la température corporelle centrale mesurée dans un laboratoire « thermo-neutre » se situaient dans les valeurs rapportées par les études menées dans des bâtiments en flammes. De plus, les phases de travail ont été réalisées sur un tapis roulant pour imposer un rythme de travail identique aux participants en tout temps et comparer les variations physiologiques pour une même intensité de travail. Toutefois, certains participants ont mentionné travailler à un rythme trop élevé, surtout lors de la deuxième phase de travail. Dans une situation réelle, les pompiers travaillent à leur propre rythme. Dans le but de représenter davantage la réalité du métier, il aurait été préférable que les pompiers exécutent les phases de travail à rythme plus réel dans un circuit composé de différentes tâches du métier. Ainsi, en plus des variations physiologiques, le travail total accompli aurait pu aussi être mesuré et comparé entre les protocoles. Une autre limite, évidente celle-là, est que le protocole de simulation de lutte contre un incendie n'engendrait aucun stress psychologique particulier, sinon un effet Hawthorne (Laurencelle 2005) probable, ce qui a probablement induit une sous-estimation de la FC par rapport à une situation de lutte réelle contre un incendie. Enfin, les participants recrutés pour

cette étude étaient jeunes et présentaient un faible risque de MCV. Les différences obtenues auraient pu être plus marquées avec des pompiers plus âgés, en moins bonne condition physique et présentant un risque plus élevé de MCV. Par exemple, les différences de FC et de température du canal auditif entre les phases de travail auraient pu être plus grandes considérant que l'âge a un effet indépendant diminuant la capacité à dissiper la chaleur corporelle (Larose et coll. 2013).

6.4 Perspectives pratiques

Les résultats de la thèse permettent de constater que le risque de MCV des pompiers et pompières du Québec est un enjeu de santé et sécurité au travail préoccupant sachant que, combinée à la contrainte cardiovasculaire subie au travail, la présence d'une MCV augmente le risque d'événement cardiaque lors de la réalisation des tâches du métier, tel qu'il l'est clairement démontré dans la documentation scientifique. Les résultats de la thèse portent alors à croire qu'il est dorénavant pertinent de répertorier tous les événements cardiaques mortels ou non mortels subis au travail par les pompiers et pompières du Québec afin d'en connaître davantage sur la fréquence, la gravité et les conditions de cette problématique. Il serait aussi approprié de reconnaître l'événement cardiaque mortel et non mortel subi au travail comme étant une maladie professionnelle, comme l'ont fait plusieurs provinces, territoires et états nord-américains au cours des dernières années.

Des mesures spécifiques pourraient aussi être prises pour réduire le risque de MCV chez ces travailleurs. D'ailleurs, les résultats de la thèse permettent de constater que la promotion du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail permettrait aux pompiers d'augmenter leur pratique totale d'activités physiques par semaine et réduire leur risque d'obésité viscérale. De plus, l'accès à des installations pour l'entraînement physique dans la caserne semble encourager les pompiers à pratiquer de l'activité physique en caserne pendant les heures de travail. Bref, ces résultats devraient inciter les services de sécurité incendie du Québec à faire la promotion du conditionnement physique en caserne ainsi qu'à équiper leurs locaux d'installations pour l'entraînement physique, ce qui encouragerait et aiderait les pompiers à réduire leur risque de MCV.

Enfin, lors d'une intervention, des mesures devraient aussi être prises pour assurer que les pompiers bénéficient d'une période de repos adéquate suite à une phase de travail où un premier réservoir d'air est utilisé. La NFPA suggère que les pompiers prennent une période de repos d'un minimum de 10 minutes suite à l'utilisation d'un réservoir conventionnel de 1800 L d'air (45 minutes). Toutefois, cette recommandation n'est pas supportée par des résultats objectifs découlant de protocoles scientifiques rigoureux. Or, à l'instar d'études antérieures (Colburn et coll. 2011; Horn et coll. 2011), nos résultats suggèrent qu'une période de repos plus longue serait préférable. Sans pouvoir spécifier la durée minimale que devrait durer cette période, il est possible, en s'appuyant sur les résultats de la thèse, de conseiller aux pompiers de bénéficier d'une période de repos assez longue, dans laquelle la priorité est mise sur la réduction de la température corporelle centrale et sur la réhydratation dans le but de réduire la contrainte cardiaque subie au travail et, par conséquent, le risque d'événement cardiaque. Ce conseil aurait aussi comme effet de réduire le risque d'épuisement lié à la chaleur, une problématique fréquente (Evarts et Molis 2018). Des études rapportent les stratégies les plus efficaces de refroidissement (McEntire et coll. 2013) et d'hydratation (Walker et coll. 2016) connues et spécifiques au métier de pompier.

6.5 Perspectives de recherche

Tel que mentionné précédemment, le questionnaire a été un outil intéressant pour répondre au premier objectif de la thèse. Ayant maintenant confirmé que le risque de MCV des pompiers et pompières du Québec est important, il serait pertinent de réaliser une étude avec des prises de mesures objectives, ce qui permettrait de dresser le portrait de la santé cardiovasculaire de ces travailleurs de manière plus précise et rigoureuse qu'avec des données auto-rapportées. De plus, il serait intéressant de recruter davantage de pompiers à temps partiel et volontaires pour mieux représenter ces groupes et étant donné que la grande majorité des pompiers du Québec ont ces statuts d'emploi comme aux États-Unis et que la moitié des décès au travail chez les pompiers dus à un événement cardiaque survient chez ces travailleurs (Fahy et coll. 2018). Ensuite, il serait possible de réaliser une étude longitudinale dans le but de caractériser l'évolution du risque de MCV chez les pompiers et pompières du Québec tout au long de leur carrière. Ce

projet fournirait de l'information utile à la mise sur pied de stratégies et de modalités d'action en milieu de travail visant à réduire le risque de MCV chez ces travailleurs. Le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail semble être une partie de la solution. Se basant sur les résultats obtenus dans l'étude 3, il serait pertinent de faire le suivi des pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail et de ceux qui n'en font pas afin de comparer l'évolution de leur santé cardiovasculaire sur plusieurs années. Un programme de promotion de la santé en milieu de travail doit toutefois et idéalement être diversifié pour produire des résultats optimaux chez des travailleurs de services d'urgence (Wolkow et al. 2013). Une étude qualitative permettrait d'identifier les facteurs les plus susceptibles de motiver les pompiers à adopter de saines habitudes de vie et qui pourraient faire partie d'un programme de promotion de la santé en milieu de travail. Ultiment, la réalisation d'études randomisées contrôlées permettrait de mesurer les effets de différents programmes diversifiés de promotion de la santé en milieu de travail sur la réduction du risque de MCV chez les pompiers et d'identifier les facteurs spécifiques à ce milieu de travail qui favorisent l'adoption et le maintien de saines habitudes de vie. Une seule étude expérimentale a été réalisée pour étudier les effets sur plusieurs années d'un programme de promotion de la santé en milieu chez les pompiers (Étude « PHLAME » : Elliot et coll. 2007; MacKinnon et coll. 2010).

Les résultats de l'étude 4 suggèrent que l'augmentation de la température corporelle centrale et la déshydratation sont les principaux effets associés à l'augmentation de la contrainte cardiaque lorsque les phases de travail sont intercalées par une période de repos écourtée. De futures études permettraient d'identifier de nouvelles méthodes pratiques et efficaces en situation réelle pour réduire la température corporelle centrale et favoriser la réhydratation des pompiers. De plus, les résultats montrent aussi, en accord avec les résultats de plusieurs autres études, que le délai de temps de récupération recommandé par la NFPA n'est pas suffisant pour récupérer d'une première phase de travail. Il est nécessaire d'établir des lignes directrices nouvelles supportées par des résultats scientifiques découlant de protocoles rigoureux, ce qui n'est pas le cas actuellement. Enfin, même si ces recommandations générales permettraient de prévenir davantage la contrainte cardiaque et thermique subie, les réponses physiologiques et les perceptions de chaque pompier devraient idéalement être contrôlées lors d'une intervention, considérant qu'elles varient grandement entre les individus (Barr et coll. 2016).

Conclusion

Une proportion importante de pompiers et pompières du Québec présente un risque moyen à élevé de MCV et une capacité cardiorespiratoire inférieure à la recommandation de la NFPA. Les prévalences d'obésité et d'hypertension artérielle chez les pompiers et pompières du Québec sont semblables à celles des hommes et femmes du Québec, sauf pour l'obésité, plus présente chez les pompiers plus âgés. Ces résultats sont préoccupants, sachant que la réalisation des tâches du métier peut être exigeante pour le système cardiovasculaire, nécessitant idéalement que les pompiers et pompières aient une excellente santé cardiovasculaire et capacité cardiorespiratoire. Les pompiers qui font du conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pratiquent au total plus d'activités physiques par semaine que ceux qui n'en font pas. Ce constat, intéressant en soi, l'est d'autant plus que ces deux catégories de pompiers ont une pratique d'activités physiques comparable hors des heures de travail, permettant d'inférer que le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail permet aux pompiers de pratiquer au total plus d'activités physiques. Les casernes équipées d'installations pour l'entraînement physique semblent ainsi favoriser la pratique du conditionnement physique en caserne. Le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail pourrait aussi favoriser le maintien d'un poids corporel sain considérant que la prévalence d'obésité viscérale était inférieure chez les pompiers qui s'entraînent pendant les heures de travail. Ces résultats suggèrent que le conditionnement physique en caserne pendant les heures de travail permet de réduire le risque de MCV.

Enfin, la contrainte cardiaque subie pendant la lutte contre un incendie est amplifiée lorsque la période de repos séparant deux phases de travail et durant laquelle le pompier doit remplacer son réservoir d'air est écourtée, ce par rapport à une période de repos qui respecte la recommandation de la NFPA. Cette augmentation de la contrainte cardiaque semble principalement associée à une plus grande augmentation de la contrainte thermique et de la déshydratation plutôt qu'à une augmentation du taux métabolique. Ces résultats montrent qu'une période de repos plus généreuse permettrait de réduire la contrainte cardiovasculaire subie au travail.

Bibliographie

- Aaron, E. A., Seow, K. C., Johnson, B. D., & Dempsey, J. A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1818-1825.
- Acil, T., Atalar, E., Sahiner, L., Kaya, B., Haznedaroglu, I. C., Tokgozoglu, L., ... & Ozmen, F. (2007). Effects of acute exercise on fibrinolysis and coagulation in patients with coronary artery disease. *International Heart Journal*, 48(3), 277-285.
- Adolph, E. F. (1947). *Physiology of Man in the Desert*. New York, NY: Interscience.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, J. D., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger, J. R. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 71-80.
- Alonso, J. R., Cardellach, F., López, S., Casademont, J., & Miró, Ò. (2003). Carbon monoxide specifically inhibits cytochrome c oxidase of human mitochondrial respiratory chain. *Pharmacology & Toxicology*, 93(3), 142-146.
- Al-Zaiti, S., Rittenberger, J. C., Reis, S. E., & Hostler, D. (2015). Electrocardiographic responses during fire suppression and recovery among experienced firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 57(9), 938-942.
- American College of Sports Medicine (ACSM). (2013). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine (ACSM). (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

American Diabetes Association (ADA). (2017). 2. Classification and diagnosis of diabetes. *Diabetes Care*, 40(Supplement 1), S11-S24.

Angerer, P., Kadlez-Gebhardt, S., Delius, M., Raluca, P., & Nowak, D. (2008). Comparison of cardiocirculatory and thermal strain of male firefighters during fire suppression to exercise stress test and aerobic exercise testing. *The American Journal of Cardiology*, 102(11), 1551-1556.

Arbona, C., & Schwartz, J. P. (2016). Posttraumatic stress disorder symptom clusters, depression, alcohol abuse, and general stress among Hispanic male firefighters. *Hispanic Journal of Behavioral Sciences*, 38(4), 507-522.

Baker, J., Grice, J., Roby, L., & Matthews, C. (2000). Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics*, 43(9), 1350-1358.

Barcroft J. (1914). The respiratory function of the blood. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Barlow, R. E., Bartholomew, D. J., Bremner, J. M., & Brunk H. D. (1972). *Statistical inference under order restrictions: The theory and application of isotonic regression*. New York, NY: Wiley.

Barnard, R. J., Gardner, G. W., Diaco, N. V., MacAlpin, R. N., & Kattus, A. A. (1973a). Cardiovascular responses to sudden strenuous exercise--heart rate, blood pressure, and ECG. *Journal of Applied Physiology*, 34(6), 833-837.

Barnard, R. J., Macalpin, R., Kattus, A. A., & Buckberg, G. D. (1973b). Ischemic response to sudden strenuous exercise in healthy men. *Circulation*, 48(5), 936-942.

Barnard, R. J., & Duncan, H. W. (1975). Heart rate and ECG responses of fire fighters. *Journal of Occupational Medicine.: official publication of the Industrial Medical Association*, 17(4), 247-250.

Barr, D., Gregson, W., & Reilly, T. (2010). The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Applied Ergonomics*, 41(1), 161-172.

Barr, D. A., Haigh, C. A., Haller, J. M., & Smith, D. L. (2016). Medical monitoring during firefighter incident scene rehabilitation. *Prehospital Emergency Care*, 20(4), 467-476.

Baur, D. M., Christophi, C. A., Tsismenakis, A. J., Cook, E. F., & Kales, S. N. (2011). Cardiorespiratory fitness predicts cardiovascular risk profiles in career firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 53(10), 1155-1160.

Baur, D. M., Christophi, C. A., Tsismenakis, A. J., Jahnke, S. A., & Kales, S. N. (2012a). Weight-perception in male career firefighters and its association with cardiovascular risk factors. *BMC Public Health*, 12(1), 480.

Baur, D. M., Christophi, C. A., & Kales, S. N. (2012b). Metabolic syndrome is inversely related to cardiorespiratory fitness in male career firefighters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(9), 2331-2337.

Baur, D. M., Christophi, C. A., Cook, E. F., & Kales, S. N. (2012c). Age-related decline in cardiorespiratory fitness among career firefighters: modification by physical activity and adiposity. *Journal of Obesity*, 2012.

Baxter, C. S., Ross, C. S., Fabian, T., Borgerson, J. L., Shawon, J., Gandhi, P. D., ... & Lockey, J. E. (2010). Ultrafine particle exposure during fire suppression—Is it an important contributory factor for coronary heart disease in firefighters?. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 52(8), 791-796.

Beaton, R., Murphy, S., & Pike, K. (1996). Work and nonwork stressors, negative affective states, and pain complaints among firefighters and paramedics. *International Journal of Stress Management*, 3(4), 223-237.

Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., & Wasserman, K. (1995). Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(6), 487-492.

Bernzweig, D. (2004) Expanding “time to exit” for firefighters. *Fire Engineering*, 157(6), 63-74.

Bhambhani, Y., Norris, S., & Bell, G. (1994). Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(1), 49-59.

Black, P. H., & Garbutt, L. D. (2002). Stress, inflammation and cardiovascular disease. *Journal of Psychosomatic Research*, 52(1), 1-23.

Bolstad-Johnson, D. M., Burgess, J. L., Crutchfield, C. D., Storment, S., Gerkin, R., & Wilson, J. R. (2000). Characterization of firefighter exposures during fire overhaul. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61(5), 636-641.

Bos, J., Mol, E., Visser, B., & Frings-Dresen, M. H. (2004). The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics*, 47(4), 446-460.

Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications*. 3rd ed. Boston, MA: McGraw Hill Co.

Bugajska, J., Zużewicz, K., Szmauz-Dybko, M., & Konarska, M. (2007). Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13(3), 323-331.

Burgess, J. L., Nanson, C. J., Bolstad-Johnson, D. M., Gerkin, R., Hysong, T. A., Lantz, R. C., ... & Witten, M. L. (2001). Adverse respiratory effects following overhaul in firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 43(5), 467-473.

Burgess, J. L., Duncan, M. D., Hu, C., Littau, S. R., Caseman, D., Kurzius-Spencer, M., ... & McDonagh, P. F. (2012b). Acute cardiovascular effects of firefighting and active cooling during rehabilitation. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 54(11), 1413.

Canadian Society for exercise physiology (CSEP). (2013). Physical activity training for health (PATH).

Casa, D. J. (1999). Exercise in the heat. I. Fundamentals of thermal physiology, performance implications, and dehydration. *Journal of Athletic Training*, 34(3), 246.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2012). Current cigarette smoking among adults-United States, 2011. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 61(44), 889.

Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST). (2018). Fiches d'information Réponses SST. https://www.cchst.ca/oshanswers/occup_workplace/firefighter.html

Cheung, S. S., McLellan, T. M., & Tenaglia, S. (2000). The thermophysiology of uncompensable heat stress. *Sports Medicine*, 29(5), 329-359.

Cheung, S. S. (2010). *Advanced Environmental Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Chobanian, A. V., Bakris, G. L., Black, H. R., Cushman, W. C., Green, L. A., Izzo Jr, J. L., ... & Roccella, E. J. (2003). Seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure. *Hypertension*, 42(6), 1206-1252.

Choi, B., Schnall, P., & Dobson, M. (2016). Twenty-four-hour work shifts, increased job demands, and elevated blood pressure in professional firefighters. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89(7), 1111-1125.

Clark, S., Rene, A., Theurer, W. M., & Marshall, M. (2002). Association of body mass index and health status in firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 44(10), 940-946.

Cloutier, E., & Champoux, D. (2000). Injury risk profile and aging among Quebec firefighters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(5), 513-523.

Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 385-396.

Colburn, D., Suyama, J., Reis, S. E., Morley, J. L., Goss, F. L., Chen, Y. F., ... & Hostler, D. (2011). A comparison of cooling techniques in firefighters after a live burn evolution. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 226-232.

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité au travail (CNESST) et Gouvernement du Québec. (2018). Règlements sur la santé et la sécurité du travail : Évaluation des contraintes thermiques.

Corneil, W., Beaton, R., Murphy, S., Johnson, C., & Pike, K. (1999). Exposure to traumatic incidents and prevalence of posttraumatic stress symptomatology in urban firefighters in two countries. *Journal of Occupational Health Psychology*, 4(2), 131.

Custodis, F., Schirmer, S. H., Baumhäkel, M., Heusch, G., Böhm, M., & Laufs, U. (2010). Vascular pathophysiology in response to increased heart rate. *Journal of the American College of Cardiology*, 56(24), 1973-1983.

Dagenais, G. R., Yi, Q., Mann, J. F., Bosch, J., Pogue, J., Yusuf, S., & Heart Outcomes Prevention Evaluation (HOPE) study investigators. (2005). Prognostic impact of body weight and abdominal obesity in women and men with cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 149(1), 54-60.

Deakin, J. M., Pelot, R., Smith, J. T., Stevenson, J. M., Wolfe, L. A. (1996). Development of a bona fide physical maintenance standard for CF and DND firefighters. Queen's University, Kingston, ON.

Deo, R., & Albert, C. M. (2012). Epidemiology and genetics of sudden cardiac death. *Circulation*, 125(4), 620-637.

Donovan, R., Nelson, T., Peel, J., Lipsey, T., Voyles, W., & Israel, R. G. (2009). Cardiorespiratory fitness and the metabolic syndrome in firefighters. *Occupational Medicine*, 59(7), 487-492.

Duggan, A. (1988). Energy cost of stepping in protective clothing ensembles. *Ergonomics*, 31(1), 3-11.

Durand, G., Tsismenakis, A. J., Jahnke, S. A., Baur, D. M., Christophi, C. A., & Kales, S. N. (2011). Firefighters' physical activity: relation to fitness and cardiovascular disease risk. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1752-1759.

Éduc'alcool. (2018). Les niveaux de consommation recommandés.
<http://educalcool.qc.ca/alcool-et-vous/sante/les-niveaux-de-consommation-dalcool-a-faible-risque/#.W5fIDc5KjIU>

Elliot, D. L., Goldberg, L., Kuehl, K. S., Moe, E. L., Breger, R. K., & Pickering, M. A. (2007). The PHLAME (Promoting Healthy Lifestyles: Alternative Models' Effects) firefighter study: outcomes of two models of behavior change. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 49(2), 204-213.

El-Sayed, M. S., Ali, N., & Ali, Z. E. S. (2005). Aggregation and activation of blood platelets in exercise and training. *Sports Medicine*, 35(1), 11-22.

Elsner, K. L., & Kolkhorst, F. W. (2008). Metabolic demands of simulated firefighting tasks. *Ergonomics*, 51(9), 1418-1425.

Ensari, I., Motl, R. W., Klaren, R. E., Fernhall, B., Smith, D. L., & Horn, G. P. (2017). Firefighter exercise protocols conducted in an environmental chamber: developing a laboratory-based simulated firefighting protocol. *Ergonomics*, 60(5), 657-668.

Evarts B., & Molis J.L. (2018). *Firefighter Injuries for 2017*. Quincy, MA: National Fire Protection Association (NFPA).

Eves, N. D., Jones, R. L., & Petersen, S. R. (2005). The influence of the self-contained breathing apparatus (SCBA) on ventilatory function and maximal exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(5), 507-519.

Fabian, T. Z., Borgerson, J. L., Kerber, S. I., Pravinray, D., Gandhi, P. D. (Underwriters Laboratories Inc.). Baxter, S., Ross, C. S., Lockey, J. E. (University of Cincinnati). Dalton, J. M. (Chicago Fire Department). (2010). Final Report: Firefighter Exposures to Smoke Particulates.

Fabian, T. Z., Borgerson, J. L., Gandhi, P. D., Baxter, C. S., Ross, C. S., Lockey, J. E., & Dalton, J. M. (2014). Characterization of firefighter smoke exposure. *Fire Technology*, 50(4), 993-1019.

Fahs, C. A., Yan, H., Ranadive, S., Rossow, L. M., Agiovlasitis, S., Echols, G., ... & Fernhall, B. (2011). Acute effects of firefighting on arterial stiffness and blood flow. *Vascular Medicine*, 16(2), 113-118.

Fahy, R. F., LeBlanc, P. R., & Molis, J. L. (2016). *US Firefighters Fatalities in the United States—2015*. Quincy, MA: National Fire Protection Association (NFPA).

Fahy, R. F., LeBlanc, P. R., & Molis, J. L. (2017). *US Firefighters Fatalities in the United States—2016*. Quincy, MA: National Fire Protection Association (NFPA).

Fahy, R. F., LeBlanc, P. R., & Molis, J. L. (2018). *Firefighter fatalities in the United States-2017*. Quincy, MA: National Fire Protection Association (NFPA).

Farb, A., Tang, A. L., Burke, A. P., Sessums, L., Liang, Y., & Virmani, R. (1995). Sudden coronary death: frequency of active coronary lesions, inactive coronary lesions, and myocardial infarction. *Circulation*, 92(7), 1701-1709.

Febbraio, M. A. (2000). Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat?. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(4), 171-176.

Federal Emergency Management Association. (1992). *Fire and Emergency Service Hearing Conservation Manual*. Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration, Report No. FA-118. Washington, DC.

Fehling, P. C., Haller, J. M., Lefferts, W. K., Hultquist, E. M., Wharton, M., Rowland, T. W., & Smith, D. L. (2015). Effect of exercise, heat stress and dehydration on myocardial performance. *Occupational Medicine*, 65(4), 317-323.

Fent, K. W., Eisenberg, J., Evans, D. E., Sammons, D., Robertson, S., Striley, C., ... & Stiegel, M. A. (2013). Evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire fighters.

Fent, K. W., Evans, D. E., Booher, D., Pleil, J. D., Stiegel, M. A., Horn, G. P., & Dalton, J. (2015). Volatile organic compounds off-gassing from firefighters' personal protective equipment ensembles after use. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 12(6), 404-414.

Fernhall, B., Fahs, C. A., Horn, G., Rowland, T., & Smith, D. (2012). Acute effects of firefighting on cardiac performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 735-741.

Firstenberg, M. S., Greenberg, N. L., Main, M. L., Drinko, J. K., Odabashian, J. A., Thomas, J. D., & Garcia, M. J. (2001). Determinants of diastolic myocardial tissue Doppler velocities: influences of relaxation and preload. *Journal of Applied Physiology*, 90(1), 299-307.

Flegal, K. M., Carroll, M. D., Ogden, C. L., & Curtin, L. R. (2010). Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2008. *Journal of the American Medical Association*, 303(3), 235-241.

Fujii, N., Honda, Y., Hayashi, K., Soya, H., Kondo, N., & Nishiyasu, T. (2008). Comparison of hyperthermic hyperpnea elicited during rest and submaximal, moderate-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, 104(4), 998-1005.

Gaughan, D. M., Christiani, D. C., Hughes, M. D., Baur, D. M., Kobzik, L., Wagner, G. R., & Kales, S. N. (2014). High hsCRP is associated with reduced lung function in structural firefighters. *American Journal of Industrial Medicine*, 57(1), 31-37.

Geibe, J. R., Holder, J., Peeples, L., Kinney, A. M., Burrell, J. W., & Kales, S. N. (2008). Predictors of on-duty coronary events in male firefighters in the United States. *The American Journal of Cardiology*, 101(5), 585-589.

Gendron, P., Freiburger, E., Laurencelle, L., Trudeau, F., & Lajoie, C. (2015). Greater physical fitness is associated with better air ventilation efficiency in firefighters. *Applied Ergonomics*, 47, 229-235.

Gendron, P., Lajoie, C., Laurencelle, L., & Trudeau, F. (2018). Cardiovascular disease risk factors in Québec male firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(6), e300-e306.

Gendron, P., Lajoie, C., Laurencelle, L., & Trudeau, F. (2018). Cardiovascular disease risk in female firefighters. *Occupational Medicine*, 68(6), 412-414.

Ghali, J. K., Kadakia, S., Cooper, R. S., & Liao, Y. (1991). Impact of left ventricular hypertrophy on ventricular arrhythmias in the absence of coronary artery disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 17(6), 1277-1282.

Gibbons, R. J., Balady, G. J., Bricker, J. T., Chaitman, B. R., Fletcher, G. F., Froelicher, V. F., ... & Winters, W. L. (2002). ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Journal of the American College of Cardiology*, 40(8), 1531-1540.

Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (1992). Characterization of the physical demands of firefighting. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(3), 207-213.

Glueck, C. J., Kelley, W., Wang, P., Gartside, P. S., Black, D., & Tracy, T. (1996). Risk factors for coronary heart disease among firefighters in Cincinnati. *American journal of Industrial Medicine*, 30(3), 331-340.

Gonzalez-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Below, P. R., & Coyle, E. F. (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82(4), 1229-1236.

Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(1), 348-355.

Guidotti, T. L. (2016). *Health risks and fair compensation in the fire service*. Berlin, Germany: Springer.

Haddock, C. K., Jitnarin, N., Poston, W. S., Tuley, B., & Jahnke, S. A. (2011). Tobacco use among firefighters in the central United States. *American Journal of Industrial Medicine*, 54(9), 697-706.

Haines, H. J., Stein, G. P. (2017). *US Fire Department profile - 2015*. Quincy, MA: National Fire Protection Association (NFPA).

Harris, C. D., Watson, K. B., Carlson, S. A., Fulton, J. E., Dorn, J. M., & Elam-Evans, L. (2013). Adult participation in aerobic and muscle-strengthening physical activities—United States, 2011. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 62(17), 326.

Heffernan, K. S., Collier, S. R., Kelly, E. E., Jae, S. Y., & Fernhall, B. (2007). Arterial stiffness and baroreflex sensitivity following bouts of aerobic and resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 28(03), 197-203.

Heineke, J., & Molkentin, J. D. (2006). Regulation of cardiac hypertrophy by intracellular signalling pathways. *Nature Reviews Molecular Cell biology*, 7(8), 589.

Herxheimer, H., & Kost, R. (1932). Das Verhältnis von Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung zur Ventilation bei harter Muskelarbeit. *Zeitschrift Für Klinische Medizin*, 108, 240-247.

Holder, J. D., Stallings, L. A., Peeples, L., Burress, J. W., & Kales, S. N. (2006). Firefighter heart presumption retirements in Massachusetts 1997–2004. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 48(10), 1047-1053.

Holmes, A. L., Burgess, H. J., McCulloch, K., Lamond, N., Fletcher, A., Dorrian, J., ... & Dawson, D. (2001). Daytime cardiac autonomic activity during one week of continuous night shift. *Journal of Human Ergology*, 30(1-2), 223-228.

Holmer, I., & Gavhed, D. (2007). Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. *Applied Ergonomics*, 38(1), 45-52.

Horn, G. P., Gutzmer, S., Fahs, C. A., Petruzzello, S. J., Goldstein, E., Fahey, G. C., ... & Smith, D. L. (2011). Physiological recovery from firefighting activities in rehabilitation and beyond. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 214-225.

Horn, G. P., DeBlois, J., Shalmyeva, I., & Smith, D. L. (2012). Quantifying dehydration in the fire service using field methods and novel devices. *Prehospital Emergency Care*, 16(3), 347-355.

Horn, G. P., Blevins, S., Fernhall, B., & Smith, D. L. (2013). Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities. *Ergonomics*, 56(9), 1465-1473.

Horn, G. P., Kesler, R. M., Motl, R. W., Hsiao-Weeksler, E. T., Klaren, R. E., Ensari, I., ... & Rosengren, K. S. (2015). Physiological responses to simulated firefighter exercise protocols in varying environments. *Ergonomics*, 58(6), 1012-1021

Horn, G. P., Kesler, R. M., Kerber, S., Fent, K. W., Schroeder, T. J., Scott, W. S., ... & Smith, D. L. (2018). Thermal response to firefighting activities in residential structure fires: impact of job assignment and suppression tactic. *Ergonomics*, 61(3), 404-419.

Hostler, D., Colburn, D., Rittenberger, J. C., & Reis, S. E. (2016). Effect of two work-to-rest ratios on cardiovascular, thermal, and perceptual responses during fire suppression and recovery. *Prehospital Emergency Care*, 20(6), 681-687.

Huggins, R., Glaviano, N., Negishi, N., Casa, D. J., & Hertel, J. (2012). Comparison of rectal and aural core body temperature thermometry in hyperthermic, exercising individuals: a meta-analysis. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 329-338.

Hulett, D. M., Bendick, M., Thomas, S. Y., & Moccio, F. (2008). *A national report card on women in firefighting*. Madison, WI : International Association of Women in Fire & Emergency Services.

Hunter, A. L., Shah, A. S., Langrish, J. P., Raftis, J. B., Lucking, A. J., Brittan, M., ... & Graveling, R. (2017). Fire simulation and cardiovascular health in firefighters Clinical perspective. *Circulation*, 135(14), 1284-1295.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Plan national de surveillance 2013-2014*.

Institut national de santé publique du Québec (INSPQ). *Surveillance des maladies chroniques 2011*.

International Association of Fire Fighters and International Association of Fire Chiefs. (2008). *The Fire Service Joint Labor Management Wellness-Fitness Initiative*.

Jackson, A. S., Blair, S. N., Mahar, M. T., Wier, L. T., Ross, R. M., & Stuteville, J. E. (1990). Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Med Sci Sports Exerc*, 22(6), 863-70.

Jahnke, S. A., Poston, W. C., Haddock, C. K., Jitnarin, N., Hyder, M. L., & Horvath, C. (2012). The health of women in the US fire service. *BMC Women's Health*, 12(1), 39.

Jeffrey, O., & Grace, G. S. (2015). Particulate Infiltration Study. RTI International.

<https://firewipes.com/particle-infiltration-study/>

Jensen, M. D., Ryan, D. H., Apovian, C. M., Ard, J. D., Comuzzie, A. G., Donato, K. A., ... & Loria, C. M. (2014). 2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and The Obesity Society. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(25 Part B), 2985-3023.

Jitnarin, N., Poston, W. S., Haddock, C. K., Jahnke, S. A., & Day, R. S. (2014). Accuracy of body mass index-defined obesity status in US firefighters. *Safety and Health at Work*, 5(3), 161-164.

Kaipust, C. M., Jahnke, S. A., Poston, W. S., Jitnarin, N., Haddock, C. K., Delclos, G. L., & Day, R. S. (2019). Sleep, obesity, and injury among US male career firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 61(4), e150-e154.

Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christoudias, S. G., Tucker, S. A., Nicolaou, M., & Christiani, D. C. (2002). Firefighters' blood pressure and employment status on hazardous materials teams in Massachusetts: a prospective study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 44(7), 669-676.

Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christoudias, S. G., & Christiani, D. C. (2003). Firefighters and on-duty deaths from coronary heart disease: a case control study. *Environmental Health*, 2(1), 14.

Kales, S. N., & Christiani, D. C. (2004). Acute chemical emergencies. *New England Journal of Medicine*, 350(8), 800-808.

Kales, S. N., Soteriades, E. S., Christophi, C. A., & Christiani, D. C. (2007). Emergency duties and deaths from heart disease among firefighters in the United States. *New England Journal of Medicine*, 356(12), 1207-1215.

Kales, S. N., Tsismenakis, A. J., Zhang, C., & Soteriades, E. S. (2009). Blood pressure in firefighters, police officers, and other emergency responders. *American Journal of Hypertension*, 22(1), 11-20.

Kales, S. N., & Smith, D. L. (2014). Sudden cardiac death in the fire service. *Occupational Medicine*, 64, 228-230.

Kales, S. N., & Smith, D. L. (2017). Firefighting and the heart: implications for prevention. *Circulation*, 135, 1296-1299.

Karasek Jr, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly*, 285-308.

Kesler, R. M., Ensari, I., Bollaert, R. E., Motl, R. W., Hsiao-Weckslar, E. T., Rosengren, K. S., ... & Horn, G. P. (2018). Physiological response to firefighting activities of various work cycles using extended duration and prototype SCBA. *Ergonomics*, 61(3), 390-403.

Kirk, K. M., & Logan, M. B. (2015). Structural fire fighting ensembles: accumulation and off-gassing of combustion products. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 12(6), 376-383.

Kitamura, K., Jorgensen, C. R., Gobel, F. L., Taylor, H. L., & Wang, Y. (1972). Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *Journal of Applied Physiology*, 32(4), 516-522.

Korre, M., Porto, L. G. G., Farioli, A., Yang, J., Christiani, D. C., Christophi, C. A., ... & Steigner, M. (2016). Effect of body mass index on left ventricular mass in career male firefighters. *The American Journal of Cardiology*, 118(11), 1769-1773.

Kuehl, K. S., Kisbu-Sakarya, Y., Elliot, D. L., Moe, E. L., DeFrancesco, C. A., MacKinnon, D. P., ... & Kuehl, H. E. (2012). Body mass index is a predictor of fire fighter injury and worker compensation claims. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 54(5), 579.

Kuorinka, I., & Korhonen, O. (1981). Firefighters' reaction to alarm, an ECG and heart rate study. *Journal of Occupational Medicine*, 23(11), 762-766.

Lane-Cordova, A. D., Ranadive, S. M., Yan, H., Kappus, R. M., Sun, P., Bunsawat, K., ... & Fernhall, B. (2015). Effect of aspirin supplementation on hemodynamics in older firefighters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(12), 2653-2659.

Larose, J., Boulay, P., Sigal, R. J., Wright, H. E., & Kenny, G. P. (2013). Age-related decrements in heat dissipation during physical activity occur as early as the age of 40. *PLoS One*, 8(12), e83148.

Laurencelle, L. (2001). *Hasard, nombres aléatoires et méthode Monte Carlo*. Québec, QC : Presses de l'Université du Québec.

Laurencelle, L. (2005). *Abrégé sur les méthodes de recherche et la recherche expérimentale*. Québec, QC : Presses de l'Université du Québec.

Lee, J. S., Ahn, Y. S., Jeong, K. S., Chae, J. H., & Choi, K. S. (2014). Resilience buffers the impact of traumatic events on the development of PTSD symptoms in firefighters. *Journal of Affective Disorders*, 162, 128-133.

- Lefferts, W. K., Heffernan, K. S., Hultquist, E. M., Fehling, P. C., & Smith, D. L. (2015). Vascular and central hemodynamic changes following exercise-induced heat stress. *Vascular Medicine*, 20(3), 222-229.
- Li, K., Lipsey, T., Leach, H. J., & Nelson, T. L. (2017). Cardiac health and fitness of Colorado male/female firefighters. *Occupational Medicine*, 67(4), 268-273.
- Liberthson, R. R., Nagel, E. L., Hirschman, J. C., Nussenfeld, S. R., Blackbourne, B. D., & Davis, J. H. (1974). Pathophysiologic observations in prehospital ventricular fibrillation and sudden cardiac death. *Circulation*, 49(5), 790-798.
- Lindhard, J. (1915). Ueber das Minutenvolum des Herzens bei Ruhe und bei Muskelarbeit. *Pflügers Archiv: European Journal of Applied Physiology*, 161(5-7), 233-383.
- Louhevaara, V., Smolander, J., Tuomi, T., Korhonen, O., & Jaakkola, J. (1985). Effects of an SCBA on breathing pattern, gas exchange, and heart rate during exercise. *Journal of Occupational Medicine*, 27(3), 213-216.
- Lowden, A., Moreno, C., Holmbäck, U., Lennernäs, M., & Tucker, P. (2010). Eating and shift work—effects on habits, metabolism, and performance. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 150-162.
- MacDougall, J. D., Reddan, W. G., Layton, C. R., & Dempsey, J. A. (1974). Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36(5), 538-544.
- MacKinnon, D. P., Elliot, D. L., Thoemmes, F., Kuehl, K. S., Moe, E. L., Goldberg, L., ... & Ranby, K. W. (2010). Long-term effects of a worksite health promotion program for firefighters. *American Journal of Health Behavior*, 34(6), 695-706.

Mann, D. L., Zipes, D. P., Libby, P. & Bonow, R. O. (2014). *Braunwald's heart disease: A textbook of cardiovascular medicine*. Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences.

McCartney, N., McKelvie, R. S., Martin, J., Sale, D. G., & MacDougall, J. D. (1993). Weight-training-induced attenuation of the circulatory response of older males to weight lifting. *Journal of Applied Physiology*, 74(3), 1056-1060.

McEntire, S. J., Suyama, J., & Hostler, D. (2013). Mitigation and prevention of exertional heat stress in firefighters: a review of cooling strategies for structural firefighting and hazardous materials responders. *Prehospital Emergency Care*, 17(2), 241-260.

McLellan, T. M. (1998). Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(1), 28-37.

McLellan, T. M., Daanen, H. A., & Cheung, S. S. (2013). Encapsulated environment. *Comprehensive Physiology*, 3(3), 1363-1391.

Middleton, N., Shave, R., George, K., Whyte, G., Hart, E., & Atkinson, G. (2006). Left ventricular function immediately following prolonged exercise: A meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(4), 681-687.

Ministère de la Sécurité publique – Gouvernement du Québec. (2012). La sécurité incendie au Québec. <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/securite-incendie/quebec>

Ministère de la Sécurité publique – Gouvernement du Québec. (2015). La sécurité incendie au Québec-Statistiques sur les incendies déclarés en 2015.

Mittleman, M. A. (2007). Air pollution, exercise, and cardiovascular risk. *New England Journal of Medicine*, 357(11), 1147-1149.

Mittleman, M. A., & Mostofsky, E. (2011). Physical, psychological and chemical triggers of acute cardiovascular events: preventive strategies. *Circulation*, 124(3), 346-354.

Molina, G. E., Fontana, K. E., Porto, L. G. G., & Junqueira, L. F. (2016). Post-exercise heart-rate recovery correlates to resting heart-rate variability in healthy men. *Clinical Autonomic Research*, 26(6), 415-421.

Monroe, R. G., Gamble, W. J., LaFarge, C. G., Kumar, A. E., Stark, J., Sanders, G. L., ... & Davis, M. (1972). The Anrep effect reconsidered. *The Journal of Clinical Investigation*, 51(10), 2573-2583.

National Fire Protection Association (NFPA) 1582. (2015). *Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Department*.

National Fire Protection Association (NFPA) 1582. (2018). *Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Department*.

National Fire Protection Association (NFPA) 1584. (2015). *Standard on the Rehabilitation Process for Members during Emergency Operations and Training Exercises*.

National Cholesterol Education Program (NCEP). (2002). Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*, 106(25), 3143.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2016). *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*.

Nelson, R. R., Gobel, F. L., Jorgensen, C. R., Wang, K., Wang, Y. A. N. G., & Taylor, H. L. (1974). Hemodynamic predictors of myocardial oxygen consumption during static and dynamic exercise. *Circulation*, 50(6), 1179-1189.

Nelson, M. D., Haykowsky, M. J., Mayne, J. R., Jones, R. L., & Petersen, S. R. (2009). Effects of self-contained breathing apparatus on ventricular function during strenuous exercise. *Journal of Applied Physiology*.

Ohte, N., Narita, H., Sugawara, M., Niki, K., Okada, T., Harada, A., ... & Kimura, G. (2003). Clinical usefulness of carotid arterial wave intensity in assessing left ventricular systolic and early diastolic performance. *Heart and Vessels*, 18(3), 107-111.

Opdahl, A., Remme, E. W., Helle-Valle, T., Lyseggen, E., Vartdal, T., Pettersen, E., ... & Smiseth, O. A. (2009). Determinants of left ventricular early-diastolic lengthening velocity: independent contributions from left ventricular relaxation, restoring forces, and lengthening load. *Circulation*, 119(19), 2578-2586.

Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., ... & Kriska, A. (1995). Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *Journal of the American Medical Association*, 273(5), 402-407.

Perper, J. A., Kuller, L. H., & Cooper, M. (1975). Arteriosclerosis of coronary arteries in sudden, unexpected deaths. *Circulation*, 52(6 Suppl), III27-33.

Perroni, F., Tessitore, A., Cortis, C., Lupo, C., D'artibale, E., Cignitti, L., & Capranica, L. (2010). Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3457-3463.

Petruzzello, S. J., Poh, P. Y., Greenlee, T. A., Goldstein, E., Horn, G. P., & Smith, D. L. (2016). Physiological, perceptual and psychological responses of career versus volunteer firefighters to live-fire training drills. *Stress and Health*, 32(4), 328-336.

Poston, W. S., Haddock, C. K., Jahnke, S. A., Jitnarin, N., Tuley, B. C., & Kales, S. N. (2011a). The prevalence of overweight, obesity, and substandard fitness in a population-based firefighter cohort. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 53(3), 266.

Poston, W. S., Jitnarin, N., Haddock, C. K., Jahnke, S. A., & Tuley, B. C. (2011b). Obesity and injury-related absenteeism in a population-based firefighter cohort. *Obesity*, 19(10), 2076-2081.

Poston, W. S., Haddock, C. K., Jahnke, S. A., Jitnarin, N., & Day, R. S. (2013). An examination of the benefits of health promotion programs for the national fire service. *BMC Public Health*, 13(1), 805.

Poston, W. S. C., Jitnarin, N., Haddock, C. K., Jahnke, S. A., & Day, R. S. (2014). Accuracy of self-reported weight, height and BMI in US firefighters. *Occupational Medicine*, 64(4), 246-254.

Pouliot, M. C., Després, J. P., Lemieux, S., Moorjani, S., Bouchard, C., Tremblay, A., ... & Lupien, P. J. (1994). Waist circumference and abdominal sagittal diameter: best simple anthropometric indexes of abdominal visceral adipose tissue accumulation and related cardiovascular risk in men and women. *The American Journal of Cardiology*, 73(7), 460-468.

Price, T. G., & Goldsmith, L. J. (1998). Changes in hearing acuity in ambulance personnel. *Prehospital Emergency Care*, 2(4), 308-311.

Puttonen, S., Härmä, M., & Hublin, C. (2010). Shift work and cardiovascular disease—pathways from circadian stress to morbidity. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 96-108.

Quintard, B. Du stress objectif au stress perçu. In : Bruchon-Schweitzer, M., & Dantzer, R. (1994). *Introduction à la psychologie de la santé*. Paris, France : Presses Universitaires de France.

Rachele, J. N., Heesch, K. C., & Washington, T. L. (2014). Wellness programs at firefighter and police workplaces: a systematic review. *Health Behavior and Policy Review*, 1(4), 302-313.

Regehr, C., Dimitropoulos, G., Bright, E., George, S., & Henderson, J. (2005). Behind the brotherhood: Rewards and challenges for wives of firefighters. *Family Relations*, 54(3), 423-435.

Romet, T. T., & Frim, J. (1987). Physiological responses to fire fighting activities. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 633-638.

Rossi, R. (2003). Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46(10), 1017-1033.

Rowell, L. B., Marx, H. J., Bruce, R. A., Conn, R. D., & Kusumi, F. (1966). Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *The Journal of Clinical Investigation*, 45(11), 1801-1816.

Rowell, L. B. (1986). *Human circulation regulation during physical stress*. New York, NY: Oxford University Press.

Sale, D. G., Moroz, D. E., McKelvie, R. S., MacDougall, J. D., & McCartney, N. (1994). Effect of training on the blood pressure response to weight lifting. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 19(1), 60-74.

Santé Canada. (2007). *Bien manger avec le guide alimentaire canadien*. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/guides-alimentaires-canada.html>

Sawada, Y. (1993). Hemodynamic effects of short-term noise exposure: comparison of steady state and intermittent noise at several sound pressure levels. *Japanese Circulation Journal*, 57(9), 862-872.

Selkirk, G. A., & McLellan, T. M. (2001). Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 91(5), 2055-2063.

Sheaff, A. K., Bennett, A., Hanson, E. D., Kim, Y. S., Hsu, J., Shim, J. K., ... & Hurley, B. F. (2010). Physiological determinants of the candidate physical ability test in firefighters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 3112-3122.

Simkhovich, B. Z., Kleinman, M. T., & Kloner, R. A. (2009). Particulate air pollution and coronary heart disease. *Current Opinion in Cardiology*, 24(6), 604-609.

Sluiter, J. K. (2006). High-demand jobs: age-related diversity in work ability?. *Applied Ergonomics*, 37(4), 429-440.

Smith, D. L., & Petruzzello, S. J. (1998). Selected physiological and psychological responses to live-fire drills in different configurations of firefighting gear. *Ergonomics*, 41(8), 1141-1154.

Smith, D. L., Manning, T. S., & Petruzzello, S. J. (2001a). Effect of strenuous live-fire drills on cardiovascular and psychological responses of recruit firefighters. *Ergonomics*, 44(3), 244-254.

Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Chludzinski, M. A., Reed, J. J., & Woods, J. A. (2001b). Effect of strenuous live-fire fire fighting drills on hematological, blood chemistry and psychological measures. *Journal of Thermal Biology*, 26(4-5), 375-379.

Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Chludzinski, M. A., Reed, J. J., & Woods, J. A. (2005). Selected hormonal and immunological responses to strenuous live-fire firefighting drills. *Ergonomics*, 48(1), 55-65.

Smith, D. L., Liebig, J. P., Steward, N. M., & Fehling, P. C. (2010). *Sudden cardiac events in the fire service: understanding the cause and mitigating the risk*. Skidmore College, Health and Exercise Sciences, First Responder Health and Safety Laboratory, Saratoga Springs, NY.

Smith, D. L., Petruzzello, S. J., Goldstein, E., Ahmad, U., Tangella, K., Freund, G. G., & Horn, G. P. (2011). Effect of live-fire training drills on firefighters' platelet number and function. *Prehospital Emergency Care*, 15(2), 233-239.

Smith, D. L., & Fernhall, B. (2011). *Advanced cardiovascular exercise physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Smith, D. L., Barr, D. A., & Kales, S. N. (2013). Extreme sacrifice: sudden cardiac death in the US Fire Service. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1), 6.

Smith, D. L., Horn, G. P., Petruzzello, S. J., Fahey, G., Woods, J., & Fernhall, B. O. (2014a). Clotting and fibrinolytic changes following firefighting activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(3), 448-454.

Smith, D. L., Horn, G. P., Petruzzello, S. J., Freund, G. G., Woods, J. A., Cook, M. D., ... & Fernhall, B. (2014b). Effect of obesity on acute hemostatic responses to live-fire training drills. *The American Journal of Cardiology*, 114(11), 1768-1771.

Smith, D. L., DeBlois, J. P., Kales, S. N., & Horn, G. P. (2016). Cardiovascular strain of firefighting and the risk of sudden cardiac events. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 44(3), 90-97.

Smith, D. L., Haller, J. M., Benedict, R., & Moore-Merrell, L. (2016a). Firefighter incident rehabilitation: interpreting heart rate responses. *Prehospital Emergency Care*, 20(1), 28-36.

Smith, D. L., Horn, G. P., Woods, J., Ploutz-Snyder, R., & Fernhall, B. (2016b). Effect of aspirin supplementation on hemostatic responses in firefighters aged 40 to 60 years. *The American Journal of Cardiology*, 118(2), 275-280.

Smith, D. L., Haller, J. M., Korre, M., Fehling, P. C., Sampani, K., Grossi Porto, L. G., ... & Kales, S. N. (2018a). Pathoanatomic findings associated with duty-related cardiac death in US

firefighters: A Case–Control Study. *Journal of the American Heart Association*, 7(18), e009446.

Smith, D. L., Haller, J. M., Korre, M., Sampani, K., Porto, L. G. G., Fehling, P. C., ... & Kales, S. N. (2018b). The relation of emergency duties to cardiac death among US firefighters. *The American Journal of Cardiology*.

Société canadienne de physiologie de l'exercice (CSEP). (2013). Guide du conseiller en condition physique et habitudes de vie.

Sofi, F., Abbate, R., Gensini, G. F., & Casini, A. (2010). Accruing evidence on benefits of adherence to the Mediterranean diet on health: an updated systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92(5), 1189-1196.

Soteriades, E. S., Kales, S. N., Liarokapis, D., Christoudias, S. G., Tucker, S. A., & Christiani, D. C. (2002). Lipid profile of firefighters over time: opportunities for prevention. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 44(9), 840-846.

Soteriades, E. S., Kales, S. N., Liarokapis, D., & Christiani, D. C. (2003). Prospective surveillance of hypertension in firefighters. *The Journal of Clinical Hypertension*, 5(5), 315-320.

Soteriades, E. S., Hauser, R., Kawachi, I., Liarokapis, D., Christiani, D. C., & Kales, S. N. (2005). Obesity and cardiovascular disease risk factors in firefighters: a prospective cohort study. *Obesity Research*, 13(10), 1756-1763.

Soteriades, E. S., Hauser, R., Kawachi, I., Christiani, D. C., & Kales, S. N. (2008). Obesity and risk of job disability in male firefighters. *Occupational Medicine*, 58(4), 245-250.

Soteriades, E. S., Smith, D. L., Tsismenakis, A. J., Baur, D. M., & Kales, S. N. (2011). Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. *Cardiology in Review*, 19(4), 202-215.

Sothmann, M. S., Saupe, K., Jasenof, D., & Blaney, J. (1992). Heart rate response of firefighters to actual emergencies. Implications for cardiorespiratory fitness. *Journal of Occupational medicine.: official publication of the Industrial Medical Association*, 34(8), 797-800.

Stansfeld, S., Haines, M., & Brown, B. (2000). Noise and health in the urban environment. *Reviews on Environmental Health*, 15(1-2), 43-82.

Stringer, W., Wasserman, K., Casaburi, R., Porszasz, J., Maehara, K., & French, W. (1994). Lactic acidosis as a facilitator of oxyhemoglobin dissociation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(4), 1462-1467.

Syndicat des pompiers et pompières du Québec (SPQ). *Horaires de travail*. <http://www.spq-ftq.com/horaires.php>

Tavora, F., Zhang, Y., Zhang, M., Li, L., Ripple, M., Fowler, D., & Burke, A. (2012). Cardiomegaly is a common arrhythmogenic substrate in adult sudden cardiac deaths, and is associated with obesity. *Pathology*, 44(3), 187-191.

Teitlebaum, A., & Goldman, R. F. (1972). Increased energy cost with multiple clothing layers. *Journal of Applied Physiology*, 32(6), 743-744.

Todd Rogers, W., Docherty, D., & Petersen, S. (2014). Establishment of performance standards and a cut-score for the Canadian Forces Firefighter Physical Fitness Maintenance Evaluation (FF PFME). *Ergonomics*, 57(11), 1750-1759.

Tomei, G., Fioravanti, M., Cerratti, D., Sancini, A., Tomao, E., Rosati, M. V., ... & De Sio, S. (2010). Occupational exposure to noise and the cardiovascular system: a meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 408(4), 681-689.

Trivel, D., Calmels, P., Léger, L., Busso, T., Devillard, X., Castells, J., & Denis, C. (2004). Validity and reliability of the Huet questionnaire to assess maximal oxygen uptake. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(5), 623-638.

Tualatin Valley Fire & Rescue. (2011). A study on chemicals found in the overhaul phase of structure fires using advanced portable air monitoring available for chemical speciation. In Ed: Salem, OR: State of Oregon Fire Service Policy Council.

Tubbs, R. L. (1995a). *Evaluating risk of noise induced hearing loss for firefighters*. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Publication no. HETA 89-0026-2495.

Tubbs, R. L. (1995b). Noise and hearing loss in firefighting. *Occupational Medicine (Philadelphia, Pa.)*, 10(4), 843-856.

Van Amelsvoort, L. G. P. M., Schouten, E. G., Maan, A. C., Swenne, C. A., & Kok, F. J. (2000). Occupational determinants of heart rate variability. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(4), 255-262.

Van Kempen, E. E., Kruize, H., Boshuizen, H. C., Ameling, C. B., Staatsen, B. A., & de Hollander, A. E. (2002). The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 110(3), 307.

Vlachopoulos C, O'Rourke M, Nichols WW. (2011). McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental and clinical principles. London,UK: CRC press.

Von Heimburg, E. D., Rasmussen, A. K. R., & Medbø, J. I. (2006). Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. *Ergonomics*, 49(2), 111-126.

Wahren, J., & Bygdeman, S. (1971). Onset of angina pectoris in relation to circulatory adaptation during arm and leg exercise. *Circulation*, 44(3), 432-441.

Walker, A., Argus, C., Driller, M., & Rattray, B. (2015). Repeat work bouts increase thermal strain for Australian firefighters working in the heat. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 21(4), 285-293.

Walker, A., Pope, R., & Orr, R. M. (2016). The impact of fire suppression tasks on firefighter hydration: a critical review with consideration of the utility of reported hydration measures. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 28(1), 63.

Wallén, N. H., Goodall, A. H., Nailin, L. I., & Hjemdahl, P. (1999). Activation of haemostasis by exercise, mental stress and adrenaline: effects on platelet sensitivity to thrombin and thrombin generation. *Clinical Science*, 97(1), 27-35.

Wang, Y., & Wang, Q. J. (2004). The prevalence of prehypertension and hypertension among US adults according to the new joint national committee guidelines: new challenges of the old problem. *Archives of Internal Medicine*, 164(19), 2126-2134.

Williams, P. T. (2001). Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5), 754.

Williford, H. N., Duey, W. J., Olson, M. S., Howard, R., & Wang, N. (1999). Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness. *Ergonomics*, 42(9), 1179-1186.

Wilson, P. W., D'Agostino, R. B., Levy, D., Belanger, A. M., Silbershatz, H., & Kannel, W. B. (1998). Prediction of coronary heart disease using risk factor categories. *Circulation*, 97(18), 1837-1847.

Windisch, S., Seiberl, W., Schwirtz, A., & Hahn, D. (2017). Relationships between strength and endurance parameters and air depletion rates in professional firefighters. *Scientific Reports*, 7, 44590.

Winer, B. J., Brown, D. R., & Michels, K. M. (1991). *Statistical Principles in Experimental Design*. New York, NY: McGraw Hill Series in Psychology.

Wolk, R. (2000). Arrhythmogenic mechanisms in left ventricular hypertrophy. *EP Europace*, 2(3), 216-223.

Wolk, R., Gami, A. S., Garcia-Touchard, A., & Somers, V. K. (2005). Sleep and cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology*, 30(12), 625-662.

Wolkow, A., Netto, K., & Aisbett, B. (2013). The effectiveness of health interventions in cardiovascular risk reduction among emergency service personnel. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(3), 245-260.

World Health Organization (WHO). (2010). Global recommendations on physical activity for health.

Yan, H., Fahs, C. A., Ranadive, S., Rossow, L. M., Lane, A. D., Agiovlasitis, S., ... & Fernhall, B. (2012). Evaluation of carotid wave intensity in firefighters following firefighting. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2385-2391.

Yang, X. P., & Reckelhoff, J. F. (2011). Estrogen, hormonal replacement therapy and cardiovascular disease. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension*, 20(2), 133.

Yang, J., Teehan, D., Farioli, A., Baur, D. M., Smith, D., & Kales, S. N. (2013). Sudden cardiac death among firefighters ≤ 45 years of age in the United States. *The American Journal of Cardiology*, 112(12), 1962-1967.

Yang, J., Farioli, A., Korre, M., & Kales, S. N. (2014). Modified Mediterranean diet score and cardiovascular risk in a North American working population. *PLoS One*, 9(2), e87539.

Yoo, H. L., & Franke, W. D. (2009). Prevalence of cardiovascular disease risk factors in volunteer firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 51(8), 958-962.

Young, A. J., Sawka, M. N., Epstein, Y., Decristofano, B., & Pandolf, K. B. (1987). Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *Journal of Applied Physiology*, 63(3), 1218-1223.

Young, A. J. (1990). Energy substrate utilization during exercise in extreme environments. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 18(1), 65-118.

Zipes, D. P., & Wellens, H. J. (1998). Sudden cardiac death. *Circulation*, 98(21), 2334-2351.

Annexe I. Questionnaire – Études 1 et 2

Tel que discuté dans la méthodologie des études 1 et 2 de cette thèse, les participants ont complété un questionnaire en ligne sur le site internet SurveyMonkey[®]. Les questions sont présentées dans cette annexe.

Quel est votre sexe?

Quel est votre âge?

Quel est votre poids (en livres)

Quel est votre taille-grandeur (en pieds-pouces)?

Depuis combien d'années intervenez-vous comme pompier?

Quel est votre fonction?

- Préventionniste
- Pompier
- Lieutenant/Capitaine
- Officiers cadres/État-major (chef de peloton ou de division ou aux opérations)
- Cadres supérieurs (direction)

Quel est votre statut d'emploi (voir *définitions* ci-dessous)?

- Temps plein
- Temps partiel - Temporaire
- Volontaire

Définitions des statuts d'emploi (Ministère de la Sécurité publique du Québec) :

TEMPS PLEIN :

- *Pompier dont la durée du travail correspond à la durée normale du travail dans son secteur d'activité.*

TEMPS PARTIEL/TEMPORAIRE :

- *Pompier qui remplace des pompiers permanents pour des périodes courtes.
(ex : remplacement durant les périodes de vacances) ;*
- *Pompier qui effectue de façon régulière ou intermittente des périodes de garde en caserne avec un nombre d'heures de garde inférieur à celui d'un pompier à temps plein ;*
- *Pompiers rémunérés des périodes de garde sur le territoire*

VOLONTAIRE :

- *Pompier qui répond à une alerte provenant du service de sécurité incendie, donnée par radio, téléphone, sirène, sonnerie d'alarme ou téléavertisseur. Un pompier volontaire peut être payé à un taux horaire fixe pour le temps passé sur les lieux d'un incendie ou recevoir un montant forfaitaire annuel ou déterminé pour chaque intervention. Le pompier volontaire peut aussi être bénévole.*

Questionnaire HUET – Estimation du VO_{2max} (10 prochaines questions)

Votre emploi vous demande-t-il régulièrement un effort physique...?

- Intense
- Moyennement intense
- Peu intense
- Aucun effort physique

Quel genre d'activité physique avez-vous l'habitude de pratiquer par vous-même (en dehors de l'emploi)?

- Qui fait transpirer et augmenter le rythme cardiaque (jogging, hockey, soccer, entraînement de type « circuit-training » etc.)
- Qui fait augmenter le rythme respiratoire (marche rapide, musculation, tonte de la pelouse à pied, etc.)
- Qui fait augmenter légèrement le rythme respiratoire (marche, lavage de la voiture, etc.)
- Sans effort notoire (quilles, tir, etc.)

Combien de fois par mois pratiquez-vous vos activités physiques préférées?

- Jamais
- 1 à 4 fois par mois
- 5 à 8 fois par mois
- 9 à 12 fois par mois
- 13 fois et plus par mois

Quelle est la durée moyenne de chacune de vos séances d'activité physique?

- Moins de 15 minutes
- 16 à 30 minutes
- 31 à 45 minutes
- 46 à 60 minutes
- 61 minutes et plus

Habituellement, comment percevez-vous votre effort pendant vos séances d'activité physique?

- Très facile
- Facile
- Moyennement difficile
- Difficile
- Très difficile

À l'âge de 10 ans à 16 ans, aviez-vous l'habitude de pratiquer des activités physiques?

- Régulièrement (plus de 4 fois/sem)
- Peu (moins de 3 fois/sem)
- Très peu (1 fois/sem)

Combien de cigarettes par jour fumez-vous?

- 0 à 2
- 3 à 15
- 16 et plus

À combien estimez-vous votre surplus de poids?

- 0 lbs
- 0 à 3 lbs
- 3 à 7 lbs
- 7 à 11 lbs
- Plus de 11 lbs

Avez-vous déjà fait de la compétition dans un sport?

- Non
- Oui, compétition régionale
- Oui, compétition provinciale
- Oui, compétition nationale ou internationale

Souffrez-vous d'une des maladies suivantes?

Diabète, haute pression, problème cardiaque, problème respiratoire, obésité, asthme, arthrite.

Perception de condition physique et de santé

En général, diriez-vous que votre condition physique est...?

- Excellente
- Très bonne
- Bonne
- Passable
- Mauvaise

En général, diriez-vous que votre santé est...?

- Excellente
- Très bonne
- Bonne
- Passable
- Mauvaise

Alimentation

En général, combien de portions de boisson gazeuse consommez-vous par semaine? (1 portion = 1 canette de 355 mL)

En général, excluant le jus, combien de portions de légumes (crus, cuits, en conserve ou surgelés) consommez-vous par jour? (1 portion = ½ tasse)

En général, excluant le jus, combien de portions de fruits (crus, cuits, en conserve ou surgelés) consommez-vous par jour? (1 portion = ½ tasse)

Examen de routine et prise de sang

Depuis combien de temps avez-vous eu un examen de routine par un médecin?

- Moins d'un an
- Entre 1 et 2 ans
- Entre 2 et 5 ans
- Plus de 5 ans
- Jamais

Depuis combien de temps avez-vous eu une prise de sang dans le but d'analyser votre taux de cholestérol et de glucose (sucre) sanguin?

- Moins d'un an
- Entre 1 et 2 ans
- Entre 2 et 5 ans
- Plus de 5 ans
- Jamais

Maladies cardiovasculaires

Avez-vous déjà souffert d'une ou plusieurs crises cardiaques (infarctus du myocarde)?

Avez-vous déjà souffert d'un ou plusieurs accidents vasculaires cérébraux (AVC) ou d'une ischémie cérébrale transitoire (ICT)?

Avez-vous déjà subi un pontage coronarien ou une angioplastie (installation d'un ballonnet ou d'un tuteur dans une artère du cœur)?

Avez-vous déjà subi toute autre chirurgie cardiaque (excluant le pontage et l'angioplastie)?

Avez-vous un stimulateur cardiaque (pacemaker)?

Avez-vous un défibrillateur automatique implantable (DAI)?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué une valvulopathie cardiaque (problème d'une valve cardiaque)?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de l'insuffisance cardiaque?

Avez-vous déjà subi une transplantation cardiaque?

Avez-vous un problème cardiaque diagnostiqué à votre naissance?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de l'arythmie cardiaque?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour une maladie cardiaque quelconque AUTRE que pour la haute pression ou un taux de cholestérol élevé?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de l'asthme ou une autre maladie respiratoire (ex : maladie pulmonaire obstructive chronique ou de l'emphysème)?

Facteurs de risque des MCV

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de la haute pression?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour contrôler votre pression artérielle?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué un taux de cholestérol élevé?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour contrôler votre taux de cholestérol/triglycérides?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de diabète de type 2?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour le diabète de type 2 (insuline ou autre) ?

Est-ce qu'un parent au 1^{er} degré de sexe masculin (père ou frère) a souffert d'une crise cardiaque ou subi un pontage coronarien ou est décédé suite à une crise cardiaque lorsqu'âgé de moins de 55 ans?

Est-ce qu'un parent au 1^{er} degré de sexe féminin (mère ou sœur) a souffert d'une crise cardiaque ou subi un pontage coronarien ou est décédé suite à une crise cardiaque lorsqu'âgé de moins de 65 ans?

Symptômes des MCV

Avez-vous déjà ressenti une douleur à la poitrine, au cou et/ou à la mâchoire lors de la pratique d'activités physiques?

Vous arrive-t-il d'être à bout de souffle lors de vos activités de la vie quotidienne ou parfois même lorsque vous êtes au repos?

Vous arrive-t-il d'avoir des vertiges et/ou des étourdissements lors de la pratique d'activités physiques?

Vous a-t-on diagnostiqué de l'orthopnée (difficulté respiratoire en position couchée) ou apnée du sommeil?

Vous arrive-t-il d'avoir de l'œdème (enflure) à une cheville ou au mollet?

Vous arrive-t-il d'avoir de l'œdème (enflure) aux deux chevilles ou aux mollets?

Au repos, vous arrive-t-il d'avoir des palpitations cardiaques (battements cardiaques très rapides et/ou irréguliers ou des battements cardiaques très lents)?

À l'exercice, vous arrive-t-il d'avoir de la douleur (et non de l'épuisement ou de la fatigue) aux muscles des jambes lors de la marche ou lors de la montée d'escaliers?

Vous a-t-on déjà dit que vous aviez un souffle au cœur?

Tabagisme

Avez-vous déjà fumé au moins une cigarette?

Avez-vous fumé au moins 100 cigarettes dans toute votre vie?

Avez-vous fumé une cigarette dans les 30 derniers jours?

Échelle de stress perçu (14 prochaines questions)

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été perturbé(e) par quelque chose qui vous est arrivé sans que vous vous y attendiez?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous senti incapable de contrôler les choses importantes de votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous senti(e) nerveux(se) et stressé(e)?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous affronté avec succès les petits problèmes et ennuis du quotidien?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que vous faisiez face efficacement aux changements importants qui survenaient dans votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois, vous êtes-vous senti(e) confiant(e) dans votre capacité à prendre en main vos problèmes personnels?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que les choses allaient comme vous le vouliez?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous constaté que vous ne pouviez pas réaliser toutes les choses que vous aviez à faire?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été capable de venir à bout des irritants dans votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que vous dominiez la situation?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été fâché par des choses qui arrivaient et qui échappaient à votre contrôle?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous surpris à penser à des choses que vous deviez réaliser?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous pu contrôler la façon dont vous passiez votre temps?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous trouvé que les difficultés s'accumulaient à tel point que vous ne pouviez plus les surmonter?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Questions spécifiques aux femmes

FEMMES : Êtes-vous enceinte?

FEMMES : Avez-vous subi une hystérectomie avec ovariectomie (vous a-t-on retiré l'utérus ET les deux ovaires)?

FEMMES : Êtes-vous ménopausée (arrêt complet des menstruations depuis au moins un an)?

Annexe II. Questionnaire – Étude 3

Tel que discuté dans la méthodologie de l'étude 3 de cette thèse, les participants ont complété un questionnaire en ligne sur le site internet SurveyMonkey®. Les questions sont présentées dans cette annexe.

Quel est votre âge?

Depuis combien d'années intervenez-vous comme pompier?

Quelle est votre fonction?

- Pompier
- Lieutenant/Capitaine
- Officiers cadres/État-major (chef de peloton ou de division ou aux opérations)
- Cadres supérieurs (direction)

Questionnaire HUET – Estimation du VO_{2max} (10 prochaines questions)

Votre emploi vous demande-t-il régulièrement un effort physique...?

- Intense
- Moyennement intense
- Peu intense
- Aucun effort physique

Quel genre d'activité physique avez-vous l'habitude de pratiquer par vous-même (en dehors de l'emploi)?

- Qui fait transpirer et augmenter le rythme cardiaque (jogging, hockey, soccer, entraînement de type « circuit-training » etc.)
- Qui fait augmenter le rythme respiratoire (marche rapide, musculation, tonte de la pelouse à pied, etc.)

- Qui fait augmenter légèrement le rythme respiratoire (marche, lavage de la voiture, etc.)
- Sans effort notoire (quilles, tir, etc.)

Combien de fois par mois pratiquez-vous vos activités physiques préférées?

- Jamais
- 1 à 4 fois par mois
- 5 à 8 fois par mois
- 9 à 12 fois par mois
- 13 fois et plus par mois

Quelle est la durée moyenne de chacune de vos séances d'activité physique?

- Moins de 15 minutes
- 16 à 30 minutes
- 31 à 45 minutes
- 46 à 60 minutes
- 61 minutes et plus

Habituellement, comment percevez-vous votre effort pendant vos séances d'activité physique?

- Très facile
- Facile
- Moyennement difficile
- Difficile
- Très difficile

À l'âge de 10 ans à 16 ans, aviez-vous l'habitude de pratiquer des activités physiques?

- Régulièrement (plus de 4 fois/sem)
- Peu (moins de 3 fois/sem)
- Très peu (1 fois/sem)

Combien de cigarettes par jour fumez-vous?

- 0 à 2
- 3 à 15
- 16 et plus

À combien estimez-vous votre surplus de poids?

- 0 lbs
- 0 à 3 lbs
- 3 à 7 lbs
- 7 à 11 lbs
- Plus de 11 lbs

Avez-vous déjà fait de la compétition dans un sport?

- Non
- Oui, compétition régionale
- Oui, compétition provinciale
- Oui, compétition nationale ou internationale

Souffrez-vous d'une des maladies suivantes?

Diabète, haute pression, problème cardiaque, problème respiratoire, obésité, asthme, arthrite.

Pratique d'activités physiques SUR LES HEURES DE TRAVAIL

SUR VOS HEURES DE TRAVAIL, combien de fois par semaine pratiquez-vous de l'activité physique à INTENSITÉ MOYENNE (musculature conventionnelle, marche rapide, etc.)?

SUR VOS HEURES DE TRAVAIL, quelle est la durée moyenne de vos périodes d'activité physique à INTENSITÉ MOYENNE en minutes?

SUR VOS HEURES DE TRAVAIL, combien de fois par semaine pratiquez-vous de l'activité physique à INTENSITÉ ÉLEVÉE (jogging, hockey, soccer, vélo, entraînement de type circuit, etc.)?

SUR VOS HEURES DE TRAVAIL, quelle est la durée moyenne de vos périodes d'activité physique à INTENSITÉ ÉLEVÉE en minutes?

Pratique d'activités physiques EN DEHORS DES HEURES DE TRAVAIL

EN DEHORS de vos heures de travail, combien de fois par semaine pratiquez-vous de l'activité physique à INTENSITÉ MOYENNE (musculature, marche rapide, tâches ménagères à intensité moyenne et élevée, golf avec marche, etc.)?

EN DEHORS de vos heures de travail, quelle est la durée moyenne de vos périodes d'activité physique à INTENSITÉ MOYENNE en minutes?

EN DEHORS de vos heures de travail, combien de fois par semaine pratiquez-vous de l'activité physique à INTENSITÉ ÉLEVÉE (jogging, hockey, soccer, vélo, entraînement de type circuit, etc.)?

EN DEHORS de vos heures de travail, quelle est la durée moyenne de vos périodes d'activité physique à INTENSITÉ ÉLEVÉE en minutes?

Alimentation

En général, combien de portions de boisson gazeuse, de boisson sucrée, de jus faits de vrais fruits et de boissons aromatisées aux fruits consommez-vous PAR SEMAINE? (1 portion = 125 ml ou ½ tasse)

En général, combien de portions de boisson énergisante (Redbull, Monster, Rockstar, etc.) consommez-vous par semaine? (1 portion = 1 canette de 210 mL)

En général, excluant le jus, combien de portions de légumes (crus, cuits, en conserve ou surgelés) consommez-vous par jour? (1 portion = ½ tasse)

En général, excluant le jus, combien de portions de fruits (crus, cuits, en conserve ou surgelés) consommez-vous par jour? (1 portion = ½ tasse)

En général, combien de portions de viande rouge (bœuf, porc, agneau, veau, chèvre) et de viande transformée (jambon, saucisse, bacon, salami, pepperoni, baloney, etc.) consommez-vous PAR SEMAINE? (1 portion = ½ tasse)

Alcool

En général, combien de consommations d'alcool prenez-vous par semaine?

Noter qu'une consommation d'alcool équivaut à :

- Un verre de bière de 355 ml (12 oz) à 5%
- Un verre de vin de 140 ml (5 oz) à 12%
- Un verre de vin fortifié de 85 ml (3 oz) à 20%
- Un verre de spiritueux de 45 ml (1,5 oz) à 40%
- Deux verres de cidre de 140 ml (5 oz) à 6 %

Facteurs de risque des MCV

Vous a-t-on déjà diagnostiqué de la haute pression?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour contrôler votre pression artérielle?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué un taux de cholestérol élevé?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour contrôler votre taux de cholestérol/triglycérides?

Vous a-t-on déjà diagnostiqué le diabète de type 2?

Des médicaments vous sont-ils prescrits pour le diabète de type 2 (insuline ou autre) ?

Symptômes des MCV

Avez-vous ressenti une douleur à la poitrine, au cou et/ou à la mâchoire lors de la pratique d'une activité physique?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Vous est-il arrivé d'être à bout de souffle lors de vos activités de la vie quotidienne ou parfois même lorsque vous êtes au repos?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Vous est-il arrivé d'avoir des vertiges et/ou des étourdissements lors de la pratique d'une activité physique?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Vous a-t-on diagnostiqué de l'orthopnée (difficulté respiratoire en position couchée) ou apnée du sommeil?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Vous est-il arrivé d'avoir de l'œdème (enflure) à une cheville ou au mollet?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Vous est-il arrivé d'avoir de l'œdème (enflure) aux deux chevilles ou aux mollets?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Au repos, vous est-il arrivé d'avoir des palpitations cardiaques (battements cardiaques très rapides et/ou irréguliers ou des battements cardiaques très lents)?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

À l'exercice, vous est-il arrivé d'avoir de la douleur (et non de l'épuisement ou de la fatigue) aux muscles des jambes lors de la marche ou lors de la montée d'escaliers?

Dans le dernier mois?

Dans les douze derniers mois?

Tabagisme

Est-ce que vous fumez ou avez arrêté de fumer dans les six derniers mois?

Autre emploi

Avez-vous un ou d'autres emplois que celui de pompier?

En moyenne, combien d'heures par semaine travaillez-vous dans votre/vos autre(s) emploi(s)?

Échelle de stress perçu (14 prochaines questions)

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été perturbé(e) par quelque chose qui vous est arrivé sans que vous vous y attendiez?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous senti incapable de contrôler les choses importantes de votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous senti(e) nerveux(se) et stressé(e)?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous affronté avec succès les petits problèmes et ennuis du quotidien?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que vous faisiez face efficacement aux changements importants qui survenaient dans votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois, vous êtes-vous senti(e) confiant(e) dans votre capacité à prendre en main vos problèmes personnels?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que les choses allaient comme vous le vouliez?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous constaté que vous ne pouviez pas réaliser toutes les choses que vous aviez à faire?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été capable de venir à bout des irritants dans votre vie?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous senti que vous dominiez la situation?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous été fâché par des choses qui arrivaient et qui échappaient à votre contrôle?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois vous êtes-vous surpris à penser à des choses que vous deviez réaliser?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous pu contrôler la façon dont vous passiez votre temps?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent

Au cours du dernier mois, combien de fois avez-vous trouvé que les difficultés s'accumulaient à tel point que vous ne pouviez plus les surmonter?

- Jamais
- Presque jamais
- Parfois
- Assez souvent
- Très souvent